

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES DE GESTION

Étude de l'impact du développement économique sur les émissions de dioxyde de carbone

Lambory, Pierre-Etienne

Award date:
2020

Awarding institution:
Université de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



EFASM009 Mémoire de Fin d'Études

Master en Sciences Économiques et de Gestion

Année Académique 2019-2020

<p>Étude de l'impact du développement économique sur les émissions de dioxyde de carbone</p>

LAMBORY Pierre-Etienne

Titulaire : Professeur Jean-Yves Gnabo

Assistants : Doux Baraka Kusinza, Auguste Debroyse, François-Xavier Ledru

Remerciements

Je tiens à remercier le Professeur Jean-Yves Gnabo et Messieurs Doux Baraka Kusinza, Auguste Debroise et François-Xavier Ledru pour la qualité de leur enseignement, leur accompagnement et leurs conseils dans la réalisation de ce mémoire. Je souhaite aussi adresser des remerciements à mes deux partenaires d'équipe dans la réalisation de la partie de groupe de ce mémoire, Damien et Alexandr, et pour l'esprit collaboratif qui a prévalu.

Table des matières

REMERCIEMENTS	2
1. INTRODUCTION.....	5
2. REVUE DE LA LITTERATURE.....	8
3. DESCRIPTION ET EXPLICATION DES DONNEES.....	12
3.1. SOURCES DES DONNEES	12
3.2. DESCRIPTION DES VARIABLES UTILISEES	12
3.2.1. La variable expliquée	12
3.2.2. Les variables explicatives.....	12
3.3. NETTOYAGE DES DONNEES ET CONSTRUCTION DES VARIABLES.....	13
3.4. STATISTIQUES DESCRIPTIVES ET COEFFICIENTS DE CORRELATION	14
3.4.1. Statistiques descriptives.....	14
3.4.2. Analyse des coefficients de corrélation.....	15
4. PRESENTATION DU MODELE ET DE LA METHODE.....	17
4.1. LE MODELE DE LA COURBE ENVIRONNEMENTALE DE KUZNETS	17
4.2. TESTS PRELIMINAIRES SUR LES DONNEES	19
4.2.1. Test de racine unitaire.....	19
4.2.2. Hétéroscédasticité et autocorrélation du terme d'erreur.	19
4.3. METHODE EMPLOYEE ET CHOIX DES ESTIMATEURS	19
5. RESULTATS.....	20
5.1. REGRESSIONS	20
5.2. INTERPRETATION DES RESULTATS	22
5.2.1. Pouvoir explicatif du modèle.....	22
5.2.2. Interprétation des coefficients estimés des différentes variables.....	22
6. CONCLUSION.....	27
7. BIBLIOGRAPHIE.....	29
8. ANNEXES	32
8.1. ANNEXE I : REPARTITION DES PAYS DU PANEL PAR CATEGORIE DE REVENUS.....	32
8.2. ANNEXE II : STATISTIQUES DESCRIPTIVES ET MATRICES DE CORRELATION	33
8.2.1. Statistiques descriptives.....	33
8.2.2. Matrices de corrélation	34
8.3. ANNEXE III : TESTS PRELIMINAIRES	36
8.3.1. Tests de stationnarité des données.....	36

8.3.2. Tests d'hétéroscédasticité et d'autocorrélation du terme d'erreur	36
8.3.3. Diagnostic de panel.....	38
8.3.4. Résultats du Modèle à Effets Fixes reprenant le PIB et interprétations	40
8.4. ANNEXE IV : RESULTATS DETAILLES DES REGRESSIONS	43

1. Introduction

Le réchauffement climatique est l'un des défis majeurs auxquels l'humanité est confrontée aujourd'hui. La possibilité d'une catastrophe environnementale et humanitaire causée par une augmentation de la température de la planète fait l'objet de nombreuses publications scientifiques (voir notamment le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) sur <https://www.ipcc.ch/sr15/>)¹. Les causes principales de ce phénomène sont les émissions de gaz à effets de serre (GES) dues à l'activité humaine, principalement le dioxyde de carbone (CO₂), responsable de 63% du réchauffement de la planète (voir https://ec.europa.eu/clima/change/causes_fr)².

Face à cette problématique, certains engagements ont été pris par les États en vue de diminuer leurs émissions de CO₂. Que ce soit au niveau mondial lors des Conventions des Parties (COP), notamment de Kyoto (1997) ou de Paris (2015) (voir <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>)³, ou européen avec le Cadre d'action en matière de climat et d'énergie qui fixe les objectifs à atteindre pour l'année 2030 (voir https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr)⁴.

Cependant, en dépit de ces engagements, les émissions mondiales de CO₂ sont en constante augmentation depuis plusieurs décennies. A titre d'illustration, celles-ci ont progressé d'environ 46% entre les années 2000 (24 689 911 kt) et 2014 (36 138 285 kt)⁵ comme cela est relaté dans la Figure 1 ci-dessous :

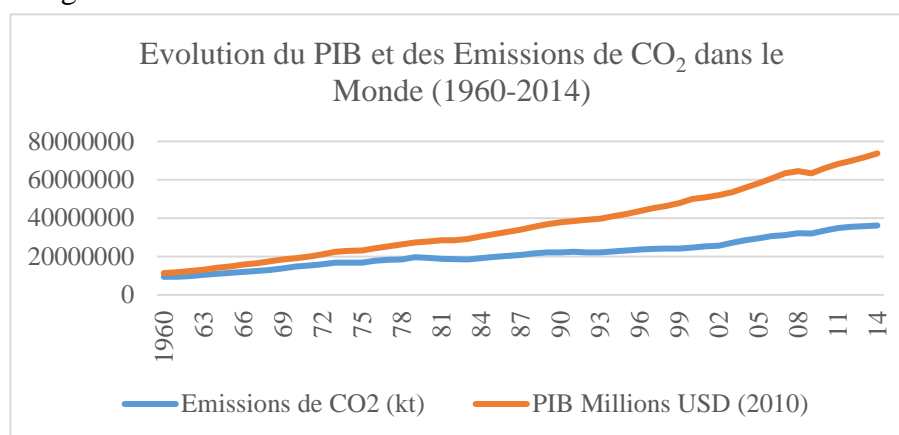


Figure 1 : Évolution du PIB et des émissions de CO₂ au niveau mondial, de 1960 à 2014 (Graphique de l'auteur basé sur les données de la Banque Mondiale)

Par ailleurs, les avis ne sont pas unanimes sur les mesures à adopter et sur le rôle de la croissance économique en vue d'une réduction des émissions de GES. Dès les années 70, un rapport d'experts du Massachusetts Institute of Technology (MIT) commandé par le Club de Rome intitulé « Les Limites à la Croissance » (Meadows *et al.* 1972) donnait l'alerte quant aux conséquences d'une progression illimitée de la croissance. Aujourd'hui encore, des voix s'élèvent pour encourager une transformation radicale de nos habitudes de consommation vers

¹ Consulté en avril 2020.

² Idem.

³ Idem.

⁴ Idem.

⁵ Calcul de l'auteur et graphique basé sur les données de la Banque Mondiale

une forme de décroissance⁶. *A contrario*, certains courants d'opinions voient la croissance économique comme la solution principale aux problématiques environnementales, la richesse offrant notamment plus d'opportunités d'investir dans des technologies plus propres et des infrastructures plus efficaces⁷.

Notre étude propose donc d'analyser l'impact du développement économique d'un ensemble de pays sur leurs émissions de CO₂ en utilisant un indicateur de développement économique alternatif, ainsi que celui de diverses variables liées à l'environnement. Le développement économique d'un pays permettrait-il de diminuer son empreinte environnementale et ses dégradations causées précédemment ? Il s'agit d'une assertion que de nombreux auteurs ont tenté de démontrer empiriquement, en utilisant des variables explicatives diverses, mais pour lesquelles les modèles développés et les résultats obtenus sont souvent fort hétérogènes, ce qui accroît le débat au sujet de sa pertinence.

L'approche dominante dans la littérature scientifique sur ce sujet analyse la relation entre la croissance économique des pays et leurs émissions de CO₂ par un modèle connu sous le nom de Courbe Environnementale de Kuznets (CEK) (Stern, 2017). Selon ce modèle, au fur et à mesure du développement économique d'un pays, ses émissions de GES croissent pour atteindre un maximum au-delà duquel les émissions finissent par décroître. L'indicateur du développement économique le plus fréquemment employé dans les articles est le Produit Intérieur Brut (PIB). La CEK fait cependant l'objet de nombreuses critiques et l'existence d'une telle relation est loin d'être vérifiée, voire même contestée par certains auteurs (Stern, 2004, 2017).

Nous nous baserons principalement sur un article de Nève et Hamaide (2017) qui compare les résultats du modèle CEK avec le PIB comme indicateur de croissance et avec un indicateur de développement alternatif proposé par la Banque Mondiale : l'Épargne Nette Ajustée (ENA). Comme leur étude semble produire des résultats concluants en utilisant l'ENA, nous tenterons de déterminer si cet indicateur, encore peu utilisé, qui tient compte des investissements en capital humain et de l'exploitation des ressources naturelles, permet une analyse plus fine de la relation entre développement économique et émissions de CO₂. Nous en ferons aussi une critique étayée.

Selon Shahbaz et Sinha (2018), la grande majorité des études s'est concentrée sur l'existence de la CEK et de sa forme, mais pas sur le niveau des émissions de CO₂ atteint au moment où la courbe entamerait sa phase décroissante. Ils se peut, dès lors, que celles-ci atteignent un point de non-retour et que les émissions continuent de croître de façon constante. Il est important, selon eux, d'analyser non pas si la CEK existe mais bien de déterminer les mesures qui permettront réellement de diminuer les émissions de CO₂ et d'aplatir la courbe.

Notre contribution à la littérature existante sera d'inclure dans le modèle de Nève et Hamaide (2017) des variables exprimant la consommation totale d'énergie (Balsalobre-Lorente, 2016) et la proportion d'énergies renouvelables dans le mix énergétique (Allard *et al.* 2018), deux facteurs concernés par le Cadre d'action en matière de climat et d'énergie de l'Union Européenne, afin d'identifier leur influence sur les émissions de CO₂. Nous analyserons

⁶ https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/12/13/serge-latouche-la-decroissance-vise-le-travailler-moins-pour-travailler-mieux_5397115_1652612.html (avril 2020).

⁷ <https://fr.irefeurope.org/Publications/Articles/article/Environnement-les-pays-riches-sont-plus-propres-et-plus-surs-que-les-pays-pauvres> (avril 2020).

également l'existence d'un impact des dépenses en recherche et développement (Allard *et al.* 2018).

Nous utiliserons des données issues de la Banque Mondiale pour 94 pays entre 2004 et 2014. Notre panel sera donc plus étendu en termes de pays, mais se concentrera sur une période plus courte par rapport à l'étude de Nève et Hamaide (2017). Pour l'estimation des paramètres du modèle nous suivrons en partie la démarche d'Allard *et al.* (2018) et utiliserons la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO) et un modèle à effets fixes (FEM) afin d'identifier des effets spécifiques à chaque pays ou à l'année observée.

Notre étude débutera par une revue de la littérature qui présentera le cadre théorique existant. Par après, le panel analysé et les variables choisies seront détaillés. Ensuite nous proposerons une explication du modèle et de sa construction. Suivra une présentation des résultats des régressions MCO et leurs interprétations. Une présentation des résultats des régressions FEM sera exposée et les résultats des deux méthodes seront comparés. Enfin, nous conclurons notre étude par une contextualisation des résultats identifiés et quelques remarques sur les limites de notre modèle.

2. Revue de la littérature

Les premières études se penchant sur la relation existant entre le taux de dégradation environnementale d'un pays et ses revenus sont apparues vers la fin du XX^{ème} siècle. Pour décrire cette relation est apparue la notion théorique d'une courbe en U inversé, qui a été nommée Courbe Environnementale de Kuznets (CEK). Les études pionnières sur le sujet étaient celles de Grossman et Krueger (1991), de Shafik et Bandyopadhyay (1992) et celle de Panayotou (1993). Ces études furent le point de départ d'une littérature abondante sur cette relation qui se voulait être tout d'abord un phénomène empirique mais qui fait l'objet de critiques sur le point de vue théorique (Stern, 2004) que nous allons explorer.

Le nom CEK fait référence à une étude de l'économiste Simon Kuznets (1955) se penchant la relation entre les inégalités de revenus et le développement économique d'un pays. Cette étude fait apparaître, tout d'abord, une croissance des inégalités aux premiers stades de la croissance économique d'un pays, avant d'atteindre, ensuite, un pic au-delà duquel celles-ci diminuent. Cette relation formant alors une courbe en U inversé, l'augmentation des revenus d'un pays menant vers une meilleure répartition de ceux-ci entre les différents individus la composant et conduisant vers une société plus égalitaire (Stern, 2004). L'application environnementale du modèle adopte une logique semblable. Dans ce modèle, on suppose qu'un pays dont le niveau de développement économique est faible n'exerce, en premier lieu, pas une forte pression environnementale. La progression de son développement économique entraîne, en second lieu, une augmentation de ses dégradations environnementales pour pourvoir à ses besoins primaires. Les effets des activités humaines sur les ressources naturelles à disposition s'accroissent au fur et à mesure de leur intensification (Nève et Hamaide, 2017). Cette pression environnementale finit par diminuer au-delà d'un seuil de revenus pour diverses raisons : transition de l'économie vers des secteurs moins polluants, délocalisation de la pollution par une augmentation des importations (phénomène souvent nommé « havre de pollution ») (Allard *et al.*, 2017), apparition de préoccupations environnementales et investissements dans des mesures de protection de l'environnement (Panayotou, 1993), etc. Cette idée que la croissance économique pourrait apporter une solution aux problèmes environnementaux est résumée par cette citation de Beckerman (1992, p. 491) : « *la meilleure, et probablement la seule, manière de parvenir à un environnement de qualité dans la plupart des pays est devenir riche* ».

Le modèle CEK dans sa forme la plus répandue, pouvant être testée via une simple régression, est le suivant (Shahbaz et Sinha 2018) :

$$Y_i = \alpha_i + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \beta_3 X_i^3 + \beta_4 Z_i + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

La variable expliquée Y correspond aux émissions de gaz à effet de serre d'un pays i (représentant ici la pression sur l'environnement. Celle-ci est le plus souvent représentée via les émissions de dioxyde de carbone (CO_2)), X représente les revenus, Z correspond aux autres variables contextualisées pouvant avoir un effet sur l'environnement, α étant l'effet spécifique d'un pays et ε le terme d'erreur. Les valeurs des paramètres β détermineront la forme que prendra la relation (linéaire, en U inversé, en N, etc.) (Nève et Hamaide, 2017).

Une forme en U inversé (\cap) a ainsi été observée dans l'étude de Grossman et Krueger (1991), qui se penchait sur les impacts potentiels de l'ALENA⁸, en choisissant des polluants locaux

⁸ ALENA : Accord de libre-échange nord-américain entre les Etats-Unis, le Canada et le Mexique.

spécifiques (dioxyde de soufre (SO₂) et particules fines) comme variable expliquée et le PIB comme mesure du revenu aux USA entre 1960 et 1990 pour variable explicative. Cela a permis notamment d'introduire un seuil de revenus au-delà duquel les dégradations environnementales diminuent. Ce seuil a été notamment évalué dans une étude de Holtz-Eakin et Selden (1995), portant sur un panel de 130 pays sur la période comprise entre 1951 et 1986, à un niveau de 35 428 USD (dollars de 1986).

Toutefois pour des polluants aux effets globaux, comme le CO₂, les études sur le sujet n'observaient pas de CEK ou les effets étaient nettement plus nuancés. Il semble donc important de distinguer les polluants en fonction de leur diffusion locale, ayant un impact direct sur la santé, ou globale dont les effets sont persistants dans le temps qui seraient plus susceptibles de révéler une relation linéaire, comme le précise l'étude d'Arrow (1996).

En l'absence d'une CEK, il est possible d'observer une relation linéaire entre les émissions de CO₂ et les revenus. C'est le cas notamment dans l'article de Shafik et Bandyopadhyay (1992), qui est une des premières études sur le sujet, portant sur un panel de 149 pays durant la période comprise entre 1960 et 1990 avec comme variable expliquée les émissions de CO₂ *per capita* et le PIB *per capita* comme variable explicative, tout en y additionnant une série d'autres variables explicatives. Différents modèles sont utilisés pour les régressions de panel (linéaire, quadratique et cubique), mais ceux-ci ne permettaient pas de conclure pour l'existence d'une CEK. Suivant une méthodologie semblable, l'étude de Magnani (2001) sur les émissions de CO₂ pour un panel de 152 pays sur une période comprise entre 1970 et 1990, ne permet pas non plus de conclure sur l'existence d'une CEK.

Cependant, certaines études utilisant les émissions de CO₂ comme variable dépendante observent une CEK (U inversé) mais seulement pour certains pays du panel (Panayotou et al., 2000). En se focalisant sur l'Autriche, pays fortement industrialisé et à l'économie ouverte, une étude de Friedl et Getzner (2002), fait apparaître, quant à elle, une relation entre les émissions de CO₂ et le PIB en forme de N, c'est-à-dire tout d'abord une forte croissance des émissions de CO₂ avec un premier sommet atteint, suivi par une légère décroissance de celles-ci, puis une nouvelle hausse des émissions, dont la croissance est toutefois moins marquée que lors de la première partie. Cette forme en N se retrouve aussi dans une étude orientée sur la relation entre les émissions de carbone et le PIB pour un panel étendu de pays via les moindres carrés ordinaires empilés (Allard, Takman, Uddin et Ahmed, 2017).

Les résultats extrêmement variables laissent à penser que la CEK est rarement observée de manière robuste. La méthodologie utilisée dans les études est, par ailleurs, l'objet de nombreuses critiques, que Stern (2004) souligne notamment, au point de vue économétrique, comme le traitement de la présence d'hétéroscédasticité, la relation de cointégration entre les variables, mais également le biais de variables omises comme pierre d'achoppement menant à des modèles faibles, toujours selon Stern (2004). A ce titre, l'article de Shahbaz et Sinha (2018) présente une revue complète de la littérature de 1991 à 2017 permettant de comparer les différents modèles et résultats hétérogènes.

La mesure du revenu et du progrès fait débat elle aussi. En effet, comment définir le progrès et comment peut-on réellement le mesurer ? Le PIB n'est pas un indicateur toujours fiable du bien-être d'un pays ou de son développement (Stiglitz *et al.*, 2009). Cet indice, bien que majoritairement utilisé dans les études se penchant sur l'existence d'une CEK, fait cependant abstraction du bien-être ou du développement durable. Ainsi comme le soutient Neumayer (2004) : « *le PIB est une mesure particulièrement erronée du revenu pour des économies*

consommatrices intensive de ressources». Or, il est de plus en plus communément accepté que ce choix d'outils de mesure économique peut se révéler déterminant pour la manière dont nous orientons nos économies (Thiry et Cassiers, 2010, p.4). Comme cela est rappelé dans le rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social : « *Ce que nous mesurons a une influence sur ce que nous faisons ; et si nos mesures sont erronées, les décisions peuvent être déformées* » (Stiglitz et al., 2009, p.7).

Souhaitant s'affranchir du PIB et de sa vision purement économique, d'autres variables explicatives ont, partant, été proposées. Prenant en compte la vision du « bien-être » humain, on peut citer notamment celle sur l'impact de l'Indice de Développement Humain (IDH) sur les émissions de différents gaz à effets de serre dans l'étude de Hill et Magnani (2002) sur un panel de 156 pays entre 1970 et 1990 (sans qu'une CEK ne soit toutefois observée, ni pour le CO₂, ni pour le dioxyde de soufre, SO₂) ou une étude de Franklin et Ruth (2012) qui utilise l'Indice de Progrès Véritable (GPI) pour les USA et leurs émissions de CO₂ entre 1950 et 2000, en obtenant des indications pour la présence d'une CEK.

Pour pallier le biais qu'induit le PIB par sa vision centrée sur les seuls revenus, la Banque Mondiale a développé un indice alternatif, l'Épargne Nette Ajustée (ENA) qui se veut être un indicateur de durabilité d'un pays, c'est-à-dire un indice permettant d'évaluer la capacité d'un pays à pouvoir assurer aux générations futures un niveau de vie à tout le moins semblable au niveau actuel (Nève et Hamaide, 2017). La méthode de calcul de l'ENA est détaillée dans *The Changing Wealth of Nations* (Jarvis et al., 2011). Elle se résume par l'équation suivante :

$$ENA = EN + ED - DE - DM - DFN - (CO_2 + DP) \quad (2.2)$$

EN correspond à l'épargne nette, ED aux dépenses en éducation (hors investissements en infrastructure), DE représente la déplétion des ressources énergétique, DM la déplétion des ressources minérales, DFN la déplétion forestière nette et (CO₂+DP) indiquent le coût des dégâts liés aux émissions de CO₂ et de particules fines.

L'ENA est un indice qui propose d'évaluer la durabilité de la croissance d'un pays. Toutefois il n'est pas exempt de critiques et ne fait pas l'objet d'un consensus. En effet, la façon dont celui-ci est construit peut susciter des questions. Comment mesurer au mieux le capital humain ? Est-ce vraiment via les dépenses en éducation ? Celles-ci ne sont pas toujours le meilleur moyen de l'évaluer comme le soulignent Thiry et Cassiers (2010). Les résultats en terme d'éducation pourraient donner une évaluation plus pertinente. La valorisation des ressources naturelles réutilisables et non réutilisables est elle aussi questionnable dès lors qu'elle n'a pas lieu dans un marché parfaitement concurrentiel (leur valorisation peut être sous-évaluée comme le souligne Thiry et Cassiers (2010)) et cela pourra amener à une éventuelle substituabilité entre les différents paramètres composant l'ENA. La méthode El Serafy⁹ permet d'atténuer en partie ces problèmes mais ne permet pas de s'affranchir totalement de ces constats (Nève et Hamaide, 2017). De plus, il apparaît que certaines ressources naturelles pourtant essentielles ne sont pas prises en compte, comme par exemple la pollution de l'eau et de l'air (Arrow, 2004).

⁹ La méthode El Serafy est une méthode permettant d'estimer la valeur des ressources en prenant en compte leur durée de vie prévue ainsi que leur rareté basée sur la formule suivante : $(P - AC) * R * \left[\frac{1}{(1+r)^{n+1}} \right]$ où P est le prix de la ressource, AC représente l'approximation du coût marginal, R représente le volume extrait de la ressource, r représente le taux d'escompte et enfin n représente la durée de vie prévue pour une ressource (en années) (Neumayer, 2004).

Bien que développée récemment, l'ENA a l'avantage d'être disponible pour un panel étendu de pays. Cet indicateur repris notamment par Munasinghe (1999) et Nève et Hamaide (2017), servira de variable explicative principale dans notre étude. Afin de répondre aux critiques émises sur la méthode économétrique des régressions (Stern, 2004), nous utiliserons la méthode des Moindres Carrés Ordinaires empilés (MCO empilés) suivit par la Méthode des Effets Fixes (FEM) le tout avec des écarts-types robustes.

3. Description et explication des données

3.1. Sources des données

Sauf indication contraire, les données utilisées dans notre étude proviennent de deux bases de données de la Banque Mondiale : les indicateurs du développement dans le monde (WDI) et les indicateurs de gouvernance mondiaux (WGI)¹⁰. Le panel est composé de 94 pays observés de 2004 à 2014 (11 années)¹¹. Il est réparti selon les catégories de revenu national brut (RNB) par habitant, étant définies par la Banque Mondiale¹². La catégorie des pays à faible revenus ne contenant que quatre pays, nous les incluons dans les pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure. Le panel sera donc divisé en trois sous-catégories :

Tableau 1: Répartition par catégorie de revenu des pays représentés dans le panel.

Catégorie de revenu	Critère de répartition	Pays	% du PIB mondial	% des émissions de CO ₂ mondiales
HINC : revenu élevé	RNB > 12 375 \$	36	62 %	33 %
MINC : revenu intermédiaire	RNB de 3 996 \$ à 12 375 \$	31	25 %	43 %
LINC : revenu faible	RNB < 3 996 \$	27	7 %	10 %
Total		94	94 %	87 %

L'ensemble des pays sélectionnés représentait en 2014, 94 % du PIB mondial (exprimé en dollars constants de 2010) et 87 % des émissions de CO₂ mondiales¹³.

3.2. Description des variables utilisées

3.2.1. La variable expliquée

La variable expliquée décrit les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) des pays du panel exprimées en kilogrammes (kg) *per capita*. Les données recensées par la Banque Mondiale proviennent du Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)¹⁴. Ces données ne sont pas disponibles au-delà de 2014 pour la plupart des pays du panel. C'est pourquoi les séries temporelles sont limitées à cette année.

3.2.2. Les variables explicatives

Notre modèle contient 8 variables explicatives :

1. L'épargne nette ajustée (ENA), exprimée en milliards de dollars US constants (2010) ;

¹⁰ <https://info.worldbank.org/governance/wgi/> (avril 2020).

¹¹ Voir Annexe I, Tableau 1.

¹² <https://blogs.worldbank.org/fr/opendata/nouvelle-classification-des-pays-en-fonction-de-leur-revenu-actualisation-2019-2020> (février 2020).

¹³ Calculs de l'auteur, basés sur les données de la Banque Mondiale.

¹⁴ Centre d'analyse des informations relatives au dioxyde de carbone, division des sciences de l'environnement, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, États-Unis.

2. La consommation d'énergie renouvelable (REN), exprimée en pourcentage de la consommation totale d'énergie du pays ;
3. La consommation totale d'énergie primaire (ENUSE), exprimée en kilos de pétrole par tranche de 1000 dollars de PIB¹⁵ ;
4. La part de l'industrie dans l'économie nationale (IND) exprimée en pourcentage du PIB ;
5. La part des importations de biens et services dans l'économie nationale (IMP) exprimée en pourcentage du PIB ;
6. Un indicateur de qualité des institutions et de la gouvernance (GOV) ;
7. Une variable binaire indiquant l'adhésion du pays au protocole de Kyoto (KYO)¹⁶ ;
8. Les dépenses en recherche et développement (RND) exprimées en pourcentage du PIB.

3.3. Nettoyage des données et construction des variables

La principale contrainte relative aux variables sélectionnées fût un grand nombre d'observations manquantes et d'interruptions dans les séries. Nous n'avons pas identifié de valeurs aberrantes. Les données ont été sélectionnées afin de constituer un panel cylindré incluant le plus grand nombre de pays durant la période la plus étendue possible.

Le calcul de l'épargne nette ajustée soustrait de l'épargne nette les montants estimés des dégâts causés par les émissions de CO₂¹⁷. Nous avons suivi la méthode employée par Nève et Hamaide (2017) et supprimé la variable CO₂ de l'équation¹⁸ afin d'éviter la présence des émissions de CO₂ dans les variables explicative et expliquée. Le montant a ensuite été converti en milliards de dollars US constants de 2010.

Concernant l'indicateur de la qualité des institutions, nous avons également suivi la méthode utilisée par Nève et Hamaide (2017). Les données sont extraites des six Indicateurs de Gouvernance Mondiaux dont les valeurs sont comprises entre -2,5 (mauvais) et 2,5 (excellent). Ils s'intitulent : *Voice and Accountability*, *Political Stability and Absence of Violence*, *Government Effectiveness*, *Regulatory Quality*, *Rule of Law*, *Control of Corruption*. Ces indicateurs étant fortement corrélés, ils sont synthétisés en leur valeur moyenne par pays. L'indicateur moyen est donc également compris entre -2,5 et 2,5. Ces données sont compilées pour plus de 200 pays. Cependant, elles ne sont accessibles qu'à partir de 1996, et ne sont présentées de manière continue qu'à partir de 2002, ce qui a limité l'étendue de nos séries temporelles.

Deux observations étaient manquantes pour la variable ENUSE, la consommation totale d'énergie primaire (Venezuela 2014 et Vietnam 2014). Afin de maintenir l'équilibre du panel, celles-ci ont été extrapolées en calculant la moyenne des deux années précédentes. Cette manipulation n'a pas d'incidence notable sur les résultats des régressions.

Pour évaluer le niveau de recherche et d'innovation d'un pays, il est possible de considérer le pourcentage du PIB des dépenses en recherche et développement ou le nombre de brevets

¹⁵ Le montant du PIB employé pour le calcul de cette variable est exprimé en Parité de Pouvoir d'Achat constante avec 2011 comme année de référence.

¹⁶ https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-a&chapter=27&clang=_en (Consulté en avril 2020).

¹⁷ Pour rappel : $ENA = EN + ED - DE - DM - DFN - (CO_2 + DP)$.

¹⁸ Soit : $ENA = EN + ED - DE - DM - DFN - DP$.

déposés durant une année (Balsalobre-Lorente et Shahbaz, 2016, Allard et al., 2018). Allard *et al.* (2018) utilisent le nombre de brevets déposés car, selon eux, les montants des dépenses en recherche et développement ne sont pas enregistrés de la même manière dans les différents pays et les données sont donc moins précises (Popp, 2012). Cependant, leur étude fournit des résultats contre-intuitifs pour cette variable, probablement en raison de la nature hétérogène des brevets déposés (Allard *et al.* 2018). Ne disposant pas de données spécifiques aux dépenses en recherche et développement orientées exclusivement vers les énergies renouvelables, nous utiliserons les données de la Banque Mondiale malgré les réserves émises ci-dessus. Ces données n'étant disponibles de manière équilibrée que pour 48 pays (principalement à revenu élevé ou intermédiaire) sur les 94 du panel, cette variable sera intégrée dans une régression distincte.

3.4. Statistiques descriptives et coefficients de corrélation

3.4.1. Statistiques descriptives

Tableau 2: Statistiques descriptives pour l'ensemble du panel.¹⁹

Panel complet (94 pays)					
Variable	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart type
CO2	5105,30	3930,60	49,00	24824,65	4694,30
ENA	72,65	10,05	-29,61	2118,30	203,75
REN	27,04	19,58	0,01	91,73	23,38
ENUSE	120,86	109,42	47,60	270,00	45,13
IND	28,41	26,41	9,89	77,41	10,23
IMP	45,78	38,78	10,95	208,33	26,00
GOV	0,18	-0,07	-1,38	1,96	0,88
KYO	0,95	1,00	0,00	1,00	0,21

CO2 : les émissions de CO₂ *per capita* sont comprises entre 49 kg (Niger, 2006) et 24 824,65 kg (Grand-Duché du Luxembourg, 2005) *per capita* soit près de 500 fois plus. L'écart type est de 4 694,30. En 2014, le Niger avait les émissions les plus faibles (110,54) et l'Arabie Saoudite les plus importantes (19 440 kg). Le Grand-Duché du Luxembourg est le deuxième pays du classement (17 362 kg) suivi des États-Unis (16 502 kg). Toujours sur base des données de 2014, les émissions totales de CO₂ de la Chine représentent 28% des émissions de CO₂ mondiales. Combinées à celles des États-Unis (environ 15%), de l'Inde (environ 6%) et de la Russie (environ 5%), ces quatre pays sont responsables de plus de la moitié des émissions mondiales (environ 54 %).

ENA : Les valeurs de l'ENA (Epargne Nette Ajustée) sont comprises entre -29,605 et 2 118,30 milliards de dollars USD constants (2010). La valeur moyenne pour l'ensemble du panel est de 72,652 milliards de dollars avec un écart type de 203,75 milliards. La valeur moyenne pour le groupe HINC est de 102,82 milliards de dollars (écart type : 175,68 milliards), 79,274 milliards de dollars (écart type : 286,61 milliards) pour le groupe MINC et de 24,823 milliards (écart type : 75,969 milliards) pour le groupe LINC. Ces données soulignent les différences très importantes entre les pays du panel complet et au sein des sous-groupes.

¹⁹ Source : Base de données construite par l'auteur sur base de données issues de la Banque Mondiale. Les statistiques descriptives détaillées pour chacun des sous-groupes du panel peuvent être consultées dans l'annexe II 8.2.1.

REN : la proportion d'énergie en provenance de sources renouvelables par rapport à la consommation totale d'énergie oscille entre 0,006% (Arabie Saoudite, 2014) et 91,73% (Tanzanie, 2004) avec une moyenne de 27,04% (écart type : 23,38) au sein du panel. Les sources mentionnées incluent les biocarburants solides (notamment le bois, la bouse séchée, etc.) ce qui explique en partie que le pourcentage moyen soit plus élevé pour les pays du groupe LINC (47,31%) que pour les pays du groupe HINC (16,76%).

ENUSE : Pour la consommation totale d'énergie primaire, les valeurs pour cette variable sont comprises entre 47,60 et 270,00 kg de pétrole par tranche de 1 000 dollars de PIB avec une consommation moyenne de 120,86 kg (écart type : 45,13). En 2014, on retrouve les ratios consommation/PIB les plus élevées dans des pays comme l'Afrique du Sud (217,58 kg) ou le Bénin (208,28).

IND : La part des industries dans les PIB des pays étudiés s'étend de 9,89% du PIB à 77,41% du PIB (Congo, 2008). Les valeurs moyennes sont de 28,40% (écart type : 8,30) pour l'ensemble des pays, 25,40% (écart type : 8,29) pour le groupe HINC, 31,38% (écart type : 9,39) pour le groupe MINC et 29,00% (écart type : 12,22) pour le groupe LINC. En 2014 la part des industries dans le PIB de la Chine représentait 43,28%, tandis que celle-ci s'élevait au maximum à 69,42% au Congo.

IMP : Les économies des pays du panel présentent des proportions variables d'importations de biens et services. Celles-ci vont de 10,95% à 208,33% du PIB. Les taux supérieurs à 100% représentent des économies très ouvertes comme celles de Singapour ou du Grand-Duché du Luxembourg. La valeur moyenne pour le panel complet est de 45,77% (écart type : 26,00), pour le groupe HINC de 50,28% (écart type : 33,62), pour le groupe MINC de 41,96% (écart type : 18,97) et pour le groupe LINC de 44,14% (écart type : 19,77).

GOV : l'indice de gouvernance pour la totalité de l'échantillon est compris entre -1,38 et 1,96. En 2014, la valeur la plus faible est observée pour le Venezuela (-1,38) et la plus élevée pour la Nouvelle-Zélande (1,85). La moyenne du groupe HINC est de 1,11 (écart type : 0,53), de -0,24 (écart type : 0,47) pour le groupe MINC et de -0,60 (écart type : 0,34) pour le groupe LINC. Ces données semblent indiquer une corrélation positive entre la richesse d'un pays et la qualité de ses institutions.

KYO : S'agissant d'une variable binaire, KYO indique que dans 95,36% des observations, le pays étudié adhère au protocole de Kyoto et l'a ratifié. Ce pourcentage est plus élevé pour les pays du groupe LINC (97%) que ceux du groupe HINC (94%) dont certains membres n'ont pas ratifié le protocole de Kyoto comme les Etats-Unis ou s'en sont retiré comme le Canada.

RND : Les données concernant les dépenses en recherche et développement durant la période analysée ne sont disponibles que pour 48 pays sur les 94 étudiés. Elles sont comprises entre 0,12% et 4,43% du PIB. La valeur moyenne est de 1,34% (écart type : 1,03).

3.4.2. Analyse des coefficients de corrélation

Dans l'ensemble, les données ne présentent pas de coefficients de corrélation élevés, ce qui laisse à penser une certaine indépendance entre les différentes données, la majorité de ceux-ci étant compris entre -0,5 et 0,5²⁰. La corrélation entre CO2 et REN est plus marquée dans

²⁰ Les matrices de corrélation peuvent être consultées dans l'Annexe II, 8.2.2.

certaines sous-groupes : -0,58 pour le panel complet, -0,63 pour MINC et -0,64 pour LINC. Le coefficient le plus important (0,79) est observé entre ENUSE et CO2 dans le groupe MINC.

L'indicateur de gouvernance GOV est corrélé avec CO2 dans le panel complet (0,61) et avec la variable RND dans le panel alternatif (0,66).

4. Présentation du modèle et de la méthode

4.1. Le modèle de la Courbe Environnementale de Kuznets

La majorité des études qui analysent les déterminants des émissions de CO₂ que nous avons consulté utilisent le modèle de la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK) (Shahbaz et Sinha, 2018)²¹. Le modèle CEK appliqué à des données de panel est généralement spécifié comme suit (Nève et Hamaide, 2017) :

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + \beta_3 X_{it}^3 + \beta_4 Z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

- Y représente la variable expliquée, en l'occurrence les émissions de CO₂ du pays *i* durant l'année *t*.
- X représente la variable explicative principale dans le modèle CEK, il s'agit des revenus généralement représentés par le revenu intérieur brut, PIB, toutefois nous utiliserons comme indicateur l'épargne nette ajustée, l'ENA, dans notre étude.
- Z symbolise les autres facteurs qui ont une influence sur Y.

La forme de la relation entre X et Y est exprimée en fonction des valeurs des coefficients β_1 , β_2 et β_3 .

- Si $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, la variable X n'a pas d'impact sur Y.
- Si $\beta_1 > 0$, $\beta_2 = \beta_3 = 0$, la relation entre X et Y est linéaire croissante.
- Si $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, $\beta_3 = 0$, la relation est en forme de U inversé.
- Si $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, $\beta_3 > 0$, la relation est en forme de N.

L'hypothèse de base du modèle CEK correspond à la forme en U inversé (\cap). Le sommet de la courbe peut alors être déterminé par l'équation suivante :

$$Y = -\beta_1/2\beta_2 \quad (4.2)$$

En cas de relation en forme de N, les points d'inflexion sont donnés par l'équation suivante :

$$Y = \frac{-\beta_2 \pm \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3} \quad (4.3)$$

Bien que fréquemment employé, le modèle CEK appliqué à l'analyse des émissions de CO₂ fait l'objet de nombreuses critiques (Stern, 2004, 2017), notamment en termes de biais de variables omises. Cependant, nous envisageons de reprendre le modèle de Nève et Hamaide (2017) utilisant comme variable explicative alternative l'ENA, en y ajoutant des variables exprimant la proportion d'énergies renouvelables dans le mix énergétique (REN) (Allard *et al.* 2018) et la consommation totale d'énergie (ENUSE) (Balsalobre-Lorente, 2016), deux facteurs concernés par le Cadre d'action en matière de climat et d'énergie de l'Union Européenne. Nous analyserons également l'existence d'un impact des dépenses en recherche et développement pour les pays pour lesquels ces données sont disponibles (RND) (Allard *et al.* 2018).

²¹ L'article mentionné présente une revue complète de la littérature de 1991 à 2017.

Le tableau ci-dessous résume les différentes variables explicatives que nous envisageons d'inclure dans le modèle ainsi que nos hypothèses à propos du signe pressenti de leur coefficient.

Tableau 3: Synthèse des variables utilisées et des signes pressentis de leur coefficients estimés.

Variable	Description	Unités	Signe attendu
ENA	Épargne nette ajustée	Milliards de Dollars	+/-
REN	Utilisation d'énergie renouvelable	% de la consommation totale	-
ENUSE	Consommation d'énergie primaire	Kg de pétrole par tranche de 1000 dollars de PIB	+
IND	Part de l'industrie dans l'économie	% du PIB	+
IMP	Importations de biens et services	% du PIB	-
GOV	Qualité des institutions	Valeur bornée entre [-2,5 ; 2,5]	-
KYO	Adhésion au protocole de Kyoto	Variable binaire	-
RND	Dépenses en recherche et développement	% du PIB	-

Nous envisageons une première série de régressions sans la variable RND pour laquelle les données de 46 pays ne sont pas disponibles (modèle 1). Cette série portera sur la totalité du panel, sur les pays à revenu élevé (HINC), intermédiaire (MINC) et faible (LINC). Une régression complémentaire (Modèle 2) portera sur un panel alternatif de pays (ALT) pour lesquels les données relatives aux dépenses en recherche et développement sont disponibles.

Notre modèle sera donc spécifié comme suit :

Modèle 1 :

$$CO2_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 ENA_{it} + \beta_2 ENA_{it}^2 + \beta_3 ENA_{it}^3 + \beta_4 REN_{it} + \beta_5 ENUSE_{it} + \beta_6 IND_{it} + \beta_7 IMP_{it} + \beta_8 GOV_{it} + \beta_9 KYO_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.4)$$

Modèle 2 :

$$CO2_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 ENA_{it} + \beta_2 ENA_{it}^2 + \beta_3 ENA_{it}^3 + \beta_4 REN_{it} + \beta_5 ENUSE_{it} + \beta_6 IND_{it} + \beta_7 IMP_{it} + \beta_8 GOV_{it} + \beta_9 KYO_{it} + \beta_{10} RND_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.5)$$

Le logiciel employé pour analyser les données, réaliser les tests et estimer les paramètres de modèles est Gretl version 2019d.

4.2. Tests préliminaires sur les données

4.2.1. Test de racine unitaire

Afin de déterminer le caractère stationnaire des données, chaque variable a été soumise au test de racine unitaire de Levin-Lin-Chu (LLC) dont les résultats peuvent être consultés en annexe²². Les tests ont tous été effectués avec une constante et l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire est rejetée de manière significative dans tous les cas. Les données semblent donc stationnaires et peuvent être analysées par les méthodes économétriques classiques.

4.2.2. Hétéroscédasticité et autocorrélation du terme d'erreur.

Nous avons effectué une régression par les Moindres Carrés Ordinaires (MCO) sur l'ensemble du panel sans la variable RND. Les tests de White et de Wooldridge confirment respectivement la présence d'hétéroscédasticité et d'autocorrélation du terme d'erreur. Les résultats complets de ces tests sont disponibles en annexe²³. En conséquence nous emploierons des écarts types robustes à l'hétéroscédasticité et à l'autocorrélation (HAC) (Arellano, 2003) dans toutes nos estimations.

4.3. Méthode employée et choix des estimateurs

L'estimateur des MCO appliqué à des données de panel (MCO empilés) constitue un moyen simple d'analyser les données. Cependant, cette méthode ne tient pas compte des différences individuelles ou temporelles au sein du panel. C'est pourquoi, comme indiqué ci-dessus, nous avons divisé le panel en sous-groupes, qui feront l'objet d'une analyse distincte afin d'atténuer l'hétérogénéité du panel complet.

Tableau 4 : Répartition du nombre de pays et d'observations dans les différents échantillons

	Total	HINC	MINC	LINC	ALT
Observations	1034	396	340	296	528
Pays	94	36	31	27	48

A l'instar des méthodes employées par Nève et Hamaide (2017) et Allard *et al.* (2018), nous envisageons une première série d'estimation des paramètres inconnus de chaque sous-groupe par l'estimateur des MCO empilés. Il est également probable que d'autres méthodes d'estimation soient mieux adaptées. Un diagnostic de panel proposé par le logiciel Gretl indique qu'un Modèle à Effets Fixes serait probablement plus performant²⁴.

Nous estimerons donc également les paramètres par un Modèle à Effets Fixes (FEM) en utilisant toujours les écarts types HAC. Cette méthode permettra d'isoler les variations individuelles propres à chaque pays. L'addition d'une variable muette temporelle permettra d'identifier des variations spécifiques à l'année observée. Ces procédés devraient permettre une estimation plus précise par le modèle des paramètres β . Enfin, pour mettre en perspective les résultats obtenus avec l'ENA, un modèle sera mis en place avec le PIB. Les résultats de ces estimations font l'objet d'une présentation et d'une analyse plus détaillée en annexe²⁵.

²² Voir Annexe III, 8.3.1. Tableau 11.

²³ Voir Annexe III, 8.3.2. Tableaux 12 et 13.

²⁴ Voir Annexe III, 8.3.3. Tableau 14.

²⁵ Voir Annexe III, 8.3.4.

5. Résultats

5.1. Régressions

Le tableau ci-dessous synthétise les valeurs estimées par les MCO empilés des paramètres pour les différents sous-groupes. Les symboles *, **, ***, représentent la significativité des variables aux seuils respectifs de 10%, 5% et 1%. Les écarts types sont indiqués entre parenthèses. Les résultats complets de chaque estimation sont présentés en annexe et les modèles correspondants sont indiqués entre parenthèses en haut de chaque colonne²⁶.

Tableau 5 : Déterminants des émissions de CO₂ par groupe de pays (méthode MCO empilés)²⁷

	Total (1)	HINC (4)	MINC (7)	LINC (10)	ALT (13)
const	2917,87* (1681,03)	986,36 (2580,27)	1739,23 (1243,29)	1398,08** (566,49)	4499,63** (2078,73)
ENA	9,85* (5,74)	-2,15 (10,48)	7,36 (7,48)	-0,68 (6,26)	1,27 (6,49)
ENA2	-0,01 (0,01)	0,01 (0,02)	-0,02* (0,01)	0,00 (0,03)	0,00 (0,01)
ENA3	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00** (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
REN	-69,74*** (11,41)	-121,09*** (41,22)	-60,52*** (11,29)	-33,32*** (9,58)	-102,24*** (31,21)
ENUSE	32,41*** (5,93)	49,66*** (13,10)	42,46*** (6,70)	7,47 (5,41)	33,99*** (8,47)
IND	69,72* (35,92)	122,13 (104,10)	19,04 (28,78)	24,89* (13,62)	30,50 (54,45)
IMP	1,27 (22,38)	13,46 (29,87)	-29,31* (15,40)	-6,04 (5,42)	-0,98 (23,97)
GOV	2877,13*** (363,11)	2660,05* (1014,42)	508,71 (370,77)	367,41 (427,69)	3784,71*** (671,72)
KYO	-2905,41*** (952,88)	-2563,34 (1754,02)	-655,90 (708,07)	86,87 (146,72)	-2935,23** (1343,48)
RND					-89,89 (406,52)
R ²	0,67	0,53	0,80	0,46	0,56
R ² ajusté	0,67	0,52	0,80	0,45	0,55
F-Stat	26,73	11,30	18,62	5,75	18,17
P Valeur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Les tableaux ci-dessous synthétisent les valeurs estimées par le FEM des paramètres pour les différents sous-groupes sans variables temporelles (Tableau 6) et avec (Tableau 7). Les symboles *, **, ***, représentent la significativité des variables aux seuils respectifs de 10%, 5% et 1%. Les écarts types sont indiqués entre parenthèses. Les résultats complets de chaque estimation sont présentés en annexe et les modèles correspondants sont indiqués entre parenthèses en haut de chaque colonne.

²⁶ Voir 8.4. Annexe IV.

²⁷ Estimations réalisées par l'auteur via le logiciel Gretl. Source des données : Banque Mondiale.

Tableau 6 : Déterminants des émissions de CO2 par groupe de pays (Modèle à Effets Fixes sans variables temporelles)²⁸

	Total (2)	HINC (5)	MINC (8)	LINC (11)	ALT (14)
const	4849,23*** (1024,58)	2618,12 (3095,41)	4367,59*** (706,03)	2542,34* (1443,63)	6555,80** (2663,43)
ENA	9,47*** (2,62)	10,05** (4,80)	8,89*** (1,88)	6,99*** (2,26)	8,96*** (2,75)
ENA2	-0,01*** (0,00)	-0,01 (0,01)	-0,00*** (0,00)	-0,02* (0,01)	-0,01*** (0,00)
ENA3	0,00*** (00)	0,00 (0,00)	0,00*** (0,00)	0,00* (0,00)	0,00*** (0,00)
REN	-69,37*** (14,33)	-83,05*** (24,90)	-61,30*** (14,19)	-15,48* (8,09)	-170,66*** (39,40)
ENUSE	12,41*** (3,83)	34,25*** (10,45)	7,49** (3,32)	-6,17 (7,95)	7,31 (6,80)
IND	16,01 (17,55)	41,93 (61,12)	-11,65 (14,22)	-21,20 (21,54)	40,43 (42,89)
IMP	-17,44* (8,96)	-21,25 (25,71)	-12,59 (9,18)	6,26* (3,52)	-26,54* (14,44)
GOV	660,94* (363,13)	2309,05*** (758,72)	336,43 (370,37)	-515,29 (821,02)	738,29 (713,55)
KYO	456,19** (203,08)	637,91* (329,66)	756,86** (280,05)	108,22 (111,54)	728,70** (290,97)
RND					762,88* (431,31)
R ² LSDV	0,98	0,98	0,99	0,81	0,97
R ² Intra	0,25	0,46	0,46	0,05	0,36

Tableau 7: Déterminants des émissions de CO2 par groupe de pays (Modèle à Effets Fixes avec variables temporelles)²⁹

	Total (3)	HINC (6)	MINC (9)	LINC (12)	ALT (15)
const	4905,32*** (1034,37)	1796,59 (3291,75)	3539,28*** (696,04)	1033,15 (732,96)	6324,84** (2480,06)
ENA	9,23*** (2,59)	9,73* (4,90)	5,49*** (1,76)	4,38* (2,55)	8,68*** (2,74)
ENA2	-0,01*** (0,00)	-0,01 (0,01)	0,00** (0,00)	-0,01 (0,01)	-0,01*** (0,00)
ENA3	0,00*** (0,00)	0,00 (0,00)	0,00** (0,00)	0,00 (0,00)	0,00*** (0,00)
REN	-67,90*** (14,38)	-94,04*** (25,80)	-52,44*** (13,40)	6,97 (9,46)	-181,60*** (46,18)
ENUSE	14,07*** (4,15)	43,89*** (13,39)	13,18*** (4,77)	-1,10 (5,20)	13,64** (6,66)
IND	10,82 (15,44)	54,67 (61,06)	-5,48 (11,17)	-27,90 (26,06)	43,01 (33,99)
IMP	-21,64**	-33,63	-19,39*	3,48	-36,12**

²⁸ Estimations réalisées par l'auteur via le logiciel Gretl. Source des données : Banque Mondiale

²⁹ Estimations réalisées par l'auteur via le logiciel Gretl. Source des données : Banque Mondiale.

	(9,71)	(26,96)	(10,91)	(2,76)	(15,64)
GOV	680,86* (364,24)	2281,29*** (735,50)	236,83 (378,06)	-535,17 (808,76)	751,54 (748,17)
KYO	396,73* (207,09)	351,43 (388,90)	651,85** (285,68)	-33,83 (112,48)	569,53* (320,82)
RND					626,02 (482,12)
R ² LSDV	0,98	0,98	0,99	0,82	0,97
R ² Intra	0,26	0,50	0,53	0,12	0,39

5.2. Interprétation des résultats

5.2.1. Pouvoir explicatif du modèle

Les tests de significativité conjointe (Fisher) relatifs à chaque régression MCO indiquent une significativité d'au moins une des variables au seuil de 1%, ce qui nous permet d'affirmer que les variables du modèle expliquent significativement la variation d'émissions de CO₂ pour différents pays.

Les R² de ces différentes régressions MCO sont compris entre 0,46 et 0,80, ce qui indique un pouvoir explicatif du modèle assez variable en fonction des sous catégories analysées. Le résultat le plus faible est observé pour le groupe LINC et le plus élevé pour le groupe MINC. Les autres R² sont toutefois supérieurs à 0,50. Avec un R² pour la régression totale de 0,67, le pouvoir explicatif de notre modèle reste dans l'ensemble acceptable, même s'il souffre à l'évidence de plusieurs biais.

En ce qui concerne les R² - Intra (en anglais *Within R Squared*) des différentes régressions via la méthode des FEM, nous obtenons des résultats qui indiquent un moins bon pouvoir explicatif du modèle que via la méthode des MCO, celui-ci n'étant que de 0,26 pour le panel total dans la méthode FEM avec variables temporelles. Cela peut s'expliquer notamment par le fait que s'agissant de panels, les différents pays les composant peuvent être très hétérogènes. C'est particulièrement le cas dans le groupe HINC où le R² - Intra est de 0,12 là où il est le plus faible, alors qu'il est le plus élevé dans le groupe MINC avec 0,53.

5.2.2. Interprétation des coefficients estimés des différentes variables

Nous commencerons tout d'abord par l'interprétation de la régression par la méthode des MCO empilés pour chacun des coefficients estimés des différentes variables. Suivra ensuite l'interprétation via la méthode des FEM.

ENA (l'épargne nette ajustée) : De par sa nature plus large pour déterminer les revenus, en prenant en compte des aspects humains, sociaux et environnementaux dont l'impact est durable dans le temps, l'ENA, qui est présentée parfois comme un indice de durabilité d'un pays, est censée avoir un impact, négatif ou positif, sur les émissions de CO₂, dont les conséquences sont ressenties elles aussi à long terme. Le modèle ne semble toutefois pas identifier de relation significative entre l'ENA et les émissions de CO₂ *per capita* permettant de déduire un modèle robuste de CEK au niveau de notre panel, ainsi que des sous-groupes le composant. Si nous pouvons observer une relation entre l'ENA et les émissions de CO₂, celle-ci est essentiellement linéaire croissante pour l'ensemble du panel et une légère courbe pourrait se dessiner grâce à la valeur du paramètre β_2 laissant entrevoir la possibilité d'une courbe en forme de U inversé. Cet

effet est toutefois à nuancer vu la différence de valeurs entre les deux paramètres estimés, ainsi que les différences entre les différents sous-groupes composant notre panel. Les effets des formes quadratiques et cubiques de la variable ne sont significatives que dans le groupe MINC avec un coefficient respectivement égal à -0,02 pour la forme quadratique (10%) et un coefficient nul pour la forme cubique (5%). Dans les sous-groupes HINC et LINC, nos résultats ne nous permettent pas d'observer un modèle de CEK.

A la différence de Neve et Hamaide (2017), notre modèle ne nous permet pas de faire apparaître, sur base de nos résultats, un modèle robuste d'une CEK pour la relation entre ENA et CO₂. La durée relativement courte de la période observée (de 2004 à 2014) explique probablement cette relation peu élevée. Les variations individuelles des deux indicateurs (ENA et CO₂) étant peu importantes d'une année à l'autre, une analyse à plus long terme révélerait peut-être des résultats différents, sans oublier que dans la période étudiée se retrouve la crise économique de 2008 qui a, sans doute, impacté les valeurs de l'ENA plus ou moins fortement suivant les groupes de pays (HINC, MINC ou LINC), ces pays ayant dû prendre des mesures pour relancer leur croissance économique, ce qui a pu accroître leur pression environnementale.

REN (l'utilisation d'énergie renouvelable) : le modèle prédit un impact négatif d'une augmentation de la proportion d'énergie renouvelable sur les émissions de CO₂. Les coefficients sont dans tous les cas significatifs au seuil de 1% et indiquent qu'une augmentation de la proportion d'énergie renouvelable dans le pourcentage de la consommation totale d'énergie d'un pays d'un point de pourcentage entraîne une diminution moyenne des émissions de CO₂ comprise en moyenne entre -33,32 kg (LINC) et -121,09 kg (HINC). Ces résultats sont cohérents par rapport à ceux d'autres études (Allard *et al.*, 2017) et vont dans le sens des objectifs fixés par le Cadre d'action en matière de climat et d'énergie de l'Union Européenne.

ENUSE (la consommation d'énergie primaire) : une relation positive entre la consommation totale d'énergie primaire (ENUSE) et les émissions de CO₂ est prédite par notre modèle dans la majorité des cas. Les valeurs moyennes des paramètres estimés sont comprises entre 32,41 (Total) et 49,66 (HINC) et sont significatives pour tous les cas au seuil de 1%, sauf pour le sous-groupe LINC. Ces valeurs illustrent également les efforts à entreprendre en vue d'une diminution de la consommation d'énergie, soit en quantité absolue, soit en adoptant une consommation plus efficiente pour atteindre les objectifs du Cadre d'action en matière de climat et d'énergie de l'Union Européenne.

IND (la part de l'industrie dans l'économie) : significative au seuil de 10% dans seulement deux cas, la relation positive entre la part d'industries dans l'économie nationale et les émissions de CO₂ semble indiquer que l'augmentation d'un point de pourcentage de la proportion du secteur industriel dans le PIB d'un pays a tendance à augmenter ses émissions moyennes de CO₂ *per capita* entre 24,89 et 69,72 kg.

IMP (les importations de biens et services) : également significative au seuil de 10% dans une seule régression (MINC), le signe négatif de la valeur estimée du paramètre semble corroborer l'hypothèse du « havre de pollution » selon laquelle les importations d'un pays « délocalisent » une partie de leurs émissions de CO₂ vers les pays producteurs des biens et services importés (Allard *et al.*, 2017). Des résultats similaires sont observables dans la littérature, notamment dans l'étude de Friedl et Getzner (2003).

GOV (la qualité des institutions) : le modèle prédit un impact positif et relativement élevé de la qualité des institutions sur les émissions de CO₂. Il est cependant important de noter que ces

coefficients compris entre 2877,13 et 3784,71 sont modérés par le fait que les valeurs de la variable sont comprises entre -2,5 et 2,5 et ses variations observées en dixièmes d'unités. Si notre intuition de départ était de voir dans une meilleure qualité des institutions d'un pays une possible diminution de ses émissions de CO₂, les résultats du modèle semblent indiquer que les pays qui ont les meilleures institutions sont également qui émettent le plus de CO₂ *per capita*.

KYO (l'adhésion au protocole de Kyoto) : significative dans deux régressions seulement, le modèle prédit un impact négatif de l'adhésion au Protocole de Kyoto pour l'ensemble du panel (-2 905 kg *per capita*) et pour le groupe ALT (-2 935 kg). Il s'agit d'un résultat fréquemment rencontré dans la littérature (Nève et Hamaide, 2017) qui semble traduire les efforts consentis par certains pays pour réduire leurs émissions de CO₂. Toutefois ce paramètre doit à nouveau être relativisé pour les différents sous-groupes. En effet, il existe une distinction entre les différents groupes de pays et les engagements que ceux-ci ont pris dans le cadre de ce protocole. Ainsi pour la plupart des pays en voie de développement comme pour les pays émergents, les mesures n'étaient pas contraignantes, ceci afin de ne pas entraver leur développement économique. En outre, lors de la construction de notre base de données, nous avons pris en compte l'année de ratification du traité pour déterminer la valeur de la variable muette.

RND (les dépenses en recherche et développement) : la variable RND n'est pas significative dans notre modèle MCO pour le groupe alternatif. Une estimation du modèle sur un panel identique sans inclure la variable RND produit des valeurs estimées très similaires pour les autres paramètres. Les résultats ne sont donc pas concluants.

Les résultats des estimations avec le FEM, avec et sans variables muettes temporelles, sont, dans l'ensemble, comparables. L'addition des variables temporelles a certes une incidence sur les valeurs des paramètres estimés mais leurs signes restent identiques. Les variables temporelles apportent également des variations en terme de significativité des variables.

Les résultats obtenus par les FEM sont globalement cohérents avec ceux obtenus par les MCO. Nous constatons cependant quelques différences que nous proposons de souligner ci-dessous.

ENA (l'épargne nette ajustée) : les différentes estimations semblent prédire ici aussi plutôt une relation linéaire positive entre l'ENA et les émissions de CO₂. L'effet du paramètre estimé β_2 laisse lui aussi entrevoir la possibilité d'une courbe en forme de U inversé (significativité à 1% pour la totalité du panel et pour le groupe ALT) mais à nouveau dans des proportions faibles qui ne nous permettent pas de conclure sur l'existence formelle d'un modèle de CEK ou du moins pas de conclure sur un modèle robuste de CEK avec l'apparition d'un aplatissement de la courbe. En effet, les résultats sont à nuancer vu les différences de valeurs entre les estimateurs de valeurs de coefficients pour l'ENA, i.e. dans le total (tous significatifs à 1%) 9,23 pour β_1 , -0,01 pour β_2 et 0,00 pour β_3 . Ce qui laisse entrevoir un modèle de CEK mais à dont le seuil serait atteint à un niveau élevé³⁰, à savoir 461,5 milliards de dollars USD constants 2010. Un seuil que seuls 5 pays atteignent dans notre étude, i.e. la Chine, l'Allemagne, les États-Unis, l'Inde et le Japon. Or les États-Unis et la Chine, sont tous deux responsables en 2014 de respectivement 15% et 28% des émissions totales de CO₂.

Ces résultats vont donc plutôt dans le sens de l'opinion de Stern (2004, p. 1420) qui soutient que le modèle d'une CEK n'existe pas formellement et que les émissions de gaz polluants ont tendance à augmenter de façon monotone avec l'augmentation de la richesse d'un pays, et donc

³⁰ Le seuil au-delà duquel les émissions décroissent est calculé via l'équation (4.2) : $Y = -\beta_1/2\beta_2$

que la croissance économique n'est pas une solution aux problèmes environnementaux. L'absence de CEK est, par contre, appuyée par les estimations avec une valeur de 0,00 pour les coefficients d'ENA2 et ENA3 lorsque ceux-ci sont significatifs (comme dans le groupe MINC au seuil de 5%).

REN (l'utilisation d'énergie renouvelable) : si l'on observe des différences dans les valeurs des paramètres estimés pour la proportion d'énergies renouvelables, les modèles prédisent, dans tous les cas, une diminution des émissions de CO₂ lors d'une augmentation de l'utilisation de ce type d'énergie. Ces résultats vont dans le sens de ceux obtenus par les MCO et présentent une significativité au seuil de 1% dans la plupart des cas. Ils appuient donc notre hypothèse en faveur de l'utilisation d'énergies renouvelables et leur effet positif sur la diminution des émissions de CO₂ et s'inscrit dans les objectifs fixés par le Cadre d'action en matière de climat et d'énergie de l'Union Européenne.

ENUSE (la consommation d'énergie primaire) : Pour la consommation totale d'énergie primaire ici également, les valeurs obtenues sont cohérentes avec les résultats des MCO. Les modèles prédisent une augmentation de émissions de CO₂ liée à l'augmentation de la consommation d'énergie, bien que les coefficients soient inférieurs à ceux estimés par les MCO.

IND (la part de l'industrie dans l'économie) : la variable n'est significative dans aucun cas et ne peut dès lors être interprétée.

IMP (les importations de biens et services) : comme pour les résultats MCO, les FEM donnent ici des résultats mitigés en ce qui concerne le taux d'importation. Les variables ne dépassent pas le seuil de 5% de significativité et si quatre résultats montrent un signe négatif (hypothèse du « havre de pollution »), un coefficient est néanmoins positif (LINC) mais celui-ci n'est pas significatif.

GOV (la qualité des institutions) : lorsqu'elle est significative, la variable de gouvernance, GOV, semble également influencer à la hausse les émissions de CO₂. Le coefficient estimé par les FEM est comparable pour le groupe HINC, mais nettement inférieur dans les deux cas pour la totalité du panel.

KYO (l'adhésion au protocole de Kyoto) : les résultats obtenus par les FEM sont ici radicalement différents de ceux estimés par les MCO. Là où les MCO indiquaient une baisse des émissions de CO₂ en cas d'adhésion au protocole de Kyoto, les coefficients montrent ici un signe positif dans tous les cas. Ceci pourrait être expliqué par l'isolation des effets individuels et temporels. Si certains pays font effectivement des efforts, les émissions totales pour chaque groupe restent malgré tout en augmentation. Par ailleurs, il est bon de rappeler qu'il existe une distinction entre les différents groupes de pays et les engagements que ceux-ci ont pris dans le cadre de ce protocole, comme nous l'avons rappelé pour les MCO. Ainsi pour la plupart des pays en voie de développement comme pour les pays émergents, les mesures n'étaient pas contraignantes, ceci afin de ne pas entraver leur développement économique. Enfin, cela peut être aussi dû à la construction de base de donnée lors de laquelle nous avons pris en compte l'année de ratification du traité pour déterminer la valeur de la variable muette.

RND (les dépenses en recherche et développement) : la variable n'est significative (au seuil de 10%) que dans le cas du FEM sans variables temporelles et présente une valeur positive. Les résultats sont donc dans ce cas-ci peu concluants. Les dépenses en RND ne faisant pas la distinction sur le type de recherches, la variable traduit probablement une estimation du

développement économique général plutôt que des efforts entrepris en terme de réduction des émissions de CO₂, car il est probable que parmi ces dépenses, des investissements dans des technologies polluantes soient compris avec des investissements dans des énergies renouvelables ce qui affaiblit l'intérêt de cette variable et sa possible interprétation.

Comme pour les résultats obtenus par les MCO, les variables qui présentent le plus d'impact en vue d'une réduction des émissions de CO₂ sont, selon les prédictions du modèle, une augmentation de l'utilisation d'énergie renouvelable couplée à la diminution de la consommation totale d'énergie, que ce soit via la méthode des MCO empilés ou via les FEM.

Enfin, l'intérêt principal de cette étude était d'utiliser une variable explicative représentant le développement économique de manière alternative, i.e. l'ENA en lieu et place du produit intérieur brut (PIB), d'en déterminer son intérêt et d'en analyser les résultats. Afin de compléter notre analyse, nous avons souhaité déterminer si les résultats obtenus en utilisant l'ENA comme variable explicative présentaient des différences avec l'utilisation du PIB comme variable explicative, le tout via la méthode FEM avec et sans variables temporelles. L'ensemble des résultats ainsi que leurs interprétations peuvent être consulté en annexe³¹.

³¹ Voir annexe III, 8.3.4.

6. Conclusion

Le but de notre étude était d'analyser l'impact du développement économique sur les émissions de CO₂ de différents pays et de déterminer dans quelle mesure différents paramètres peuvent impacter positivement ou négativement ces émissions. Si la majorité des études consultées utilisent le PIB comme indicateur de développement, au vu des réserves émises sur celui-ci et détaillées plus tôt dans le présent document, nous avons choisi de suivre la méthode proposée par Nève et Hamaide (2017) et d'utiliser l'ENA au lieu du PIB. Nous souhaitons également déterminer l'influence de la consommation d'énergie et du recours aux énergies renouvelables sur les émissions de CO₂, ces deux facteurs étant repris dans les objectifs du Cadre d'action en matière de climat et d'énergie de l'Union Européenne.

Si Nève et Hamaide (2017) identifient une CEK dans la relation entre l'ENA et les émissions de CO₂, nous n'arrivons pas à des résultats totalement similaires. Des relations sont certes identifiées via l'estimateur des MCO empilés, ainsi que dans le cas de modèles FEM, mais cette relation est alors à tendance plutôt linéaire positive. Nous pouvons toutefois entrevoir la possibilité d'une forme quadratique ou cubique de la relation pour certains sous-groupes du panel étudié (notamment pour le MINC), ce qui laisse apparaître la possibilité d'un commencement de modèle de CEK. Toutefois la faible valeur du coefficient β_2 dans ce cas, ne nous permet pas de conclure formellement à l'existence d'un modèle robuste de CEK. Il s'agit de résultats, par conséquent, plutôt mitigés. Ceux-ci vont donc plutôt dans le sens de l'opinion de Stern (2004, p. 1420) selon lequel les émissions de polluants ont tendance à augmenter de façon monotone avec la richesse d'un pays et que la croissance économique n'est pas une finalité en soi pour atteindre les objectifs environnementaux qu'un pays se fixe.

Une des raisons probables de cette relation peu concluante entre les émissions de CO₂ et l'ENA, est sans doute la période étudiée qui comprend notamment la crise économique de 2008 et qui a pu en partie biaiser les valeurs ainsi que la durée moins étendue des séries temporelles analysées. Les pays composant nos panels et sous-panels sont, par ailleurs, fort hétérogènes et si les modèles à effets fixes permettent d'isoler les variations individuelles propres à chaque pays, d'autres méthodes économétriques auraient peut-être donné des résultats plus concluants. Les effets de gaz polluants comme le CO₂ étant persistants dans le temps et ressentis sur du long terme, une extension de la période étudiée pourrait peut-être apporter des résultats significatifs permettant de mieux apprécier l'évolution de ces paramètres au fil du temps. En outre, nous comparons ici l'ENA pour tout un pays sur l'évolution de ses émissions de CO₂ *per capita*. Une évaluation via l'ENA *per capita* aurait sans doute amené des résultats intéressants à mettre en perspective avec le seuil à atteindre pour infléchir la courbe (Nève et Hamaide, 2017). L'introduction dans le modèle des composantes distinctes de l'ENA, au lieu d'un montant agrégé, permettrait peut-être également une interprétation différente de la relation entre croissance et émissions de CO₂, mais aussi une meilleure analyse des effets de chacune des composantes.

L'ENA se veut être un indice représentant la capacité d'un pays à pouvoir assurer pour ses générations futures au moins le même niveau de vie (Thiry et Cassiers, 2010) et prend pour cela en compte plusieurs paramètres, mais en omet aussi plusieurs qui peuvent pourtant être primordiaux comme la pollution de l'eau ou de l'air (Arrow, 2004). Qui plus est, les émissions de CO₂ ne sont pas les seules émissions qui causent le réchauffement climatique. Il aurait été intéressant d'analyser l'impact de l'ENA sur les émissions de la totalité des gaz à effet de serre pour déterminer l'impact global que représente cet indice.

Des résultats plus significatifs sont, en revanche, obtenus pour les variables liées à l'énergie dans la majorité de nos régressions. Les prédictions de nos différents modèles appuient l'importance des efforts à réaliser en terme de diminution de la consommation énergétique de nos économies et de la promotion d'énergies en provenance de sources renouvelables. Cependant, contrairement à d'autres recherches, notre étude ne traite pas de la question des énergies nucléaires. Il serait peut-être opportun de réaliser une analyse plus approfondie du rôle de toutes les sources d'énergie dans les émissions de CO₂ mais également d'autres formes de pollution, en détaillant plus précisément leurs origines et leur impact environnemental afin de disposer de résultats plus exhaustifs (Allard, 2017).

Si nous n'avons pas pu identifier formellement de relation entre la croissance et les émissions de CO₂ permettant de faire apparaître un modèle robuste de CEK, nos résultats prédisent qu'indépendamment de la progression de son économie, un État peut agir de façon directe sur ses émissions par l'adoption de politiques énergétiques adaptées afin d'aplatir cette courbe. Une étude plus spécifique à chaque État serait cependant pertinente pour déterminer les objectifs de ces mesures et déterminer comment chaque État peut au mieux orienter sa politique économique pour limiter autant que possible sa pression environnementale.

Enfin, si l'ENA fait l'objet de critiques et n'atteint pas encore un consensus (Thiry et Cassiers, 2010), il apparaît que son utilisation en tant qu'indice de développement au sein de nos économies en lieu et place du PIB, indice dominant depuis des décennies, permettrait de mieux considérer la raréfaction de nos ressources et orienter les décisions à prendre dans le cadre d'un développement économique plus durable (Stiglitz *et al.*, 2009).

7. Bibliographie

Allard, A., Takman, J., Uddin, G. S., & Ahmed, A. (2018). The N-shaped environmental Kuznets curve: an empirical evaluation using a panel quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5848-5861.

André, P., Wooldridge, J., Beine, M., Béreau, S., de la Rupelle, M., Durré, A., Gnabo, J.-Y., Heuchenne, C., Leturcq, M., Petitjean, M. (2015). *Introduction à l'économétrie : une approche moderne*. De Boeck Supérieur.

Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35, 4772-4778.

Arellano, M. (2003) *Panel Data Econometrics*, Oxford: Oxford University Press

Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., ... & Pimentel, D. (1996). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Environment and Development Economics*, 1(1), 104-110.

Arrow, K., Dasgupta, P., Goulder, L., Daily, G., Ehrlich, P., Heal, G., ... & Walker, B. (2004). Are we consuming too much?. *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), 147-172.

Balsalobre-Lorente, D., & Shahbaz, M. (2016). Energy consumption and trade openness in the correction of GHG levels in Spain. *Bull Energy Econ*, 4(4), 310-322.

Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO2 emissions? *Energy Policy*, 113, 356-367.

Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?. *World development*, 20(4), 481-496.

Franklin, R.S. and Ruth, M. 2012, 'Growing Up and Cleaning Up: The Environmental Kuznets Curve Redux', *Applied Geography*, vol. 32, no. 1, pp. 29–39.

Friedl, B., & Getzner, M. (2003). Determinants of CO2 emissions in a small open economy. *Ecological economics*, 45(1), 133-148.

Grossman, G. M. and Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement (No. w3914). National Bureau of Economic Research.

Grossman, G.M. and Krueger, A.B. 1995, Economic Growth and the Environment, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, pp. 353–377.

Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156-1164.

Hill, R.J. and Magnani, E. 2002, 'An Exploration of the Conceptual and Empirical Basis of the Environmental Kuznets Curve', *Australian Economic Papers*, vol. 41, no. 2, pp. 239–254.

Holtz-Eakin, D. and Selden, T.M. 1995, 'Stoking the Fires? CO2 Emissions and Economic Growth', *Journal of Public Economics*, vol. 57, no. 1, pp. 85–101.

Jarvis, M., Lange, G. M., Hamilton, K., Desai, D., Fraumeni, B., Edens, B., ... & Ruta, G. (2011). *The changing wealth of nations: measuring sustainable development in the new millennium*.

Kuznets, S. 1955, 'Economic Growth and Income Inequality', *The American Economic Review*, vol. 45, pp. 1–28.

Magnani, E. (2001). The Environmental Kuznets Curve: development path or policy result?. *Environmental Modelling & Software*, 16(2), 157-165.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The limits to growth*. New York, 102, 27.

Munasinghe, M. 1999, Is Environmental Degradation an Inevitable Consequence of Economic Growth: Tunneling Through the Environmental Kuznets Curve, *Ecological Economics*, vol. 29, no. 1, pp. 89–109.

Neumayer, E. (2004). Does the “resource curse” hold for growth in genuine income as well?. *World development*, 32(10), 1627-1640.

Neve, M., & Hamaide, B. (2017). Environmental Kuznets curve with adjusted net savings as a trade-off between environment and development. *Australian Economic Papers*, 56(1), 39-58.

Panayotou, T. (1993). *Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development* (No. 992927783402676). International Labour Organization.

Panayotou, T. 1997, Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool, *Environment and Development Economics*, vol. 2, no. 4, pp. 465–484.

Panayotou, T., Peterson, A., & Sachs, J. (2000). Is the environmental Kuznets curve driven by structural change? *Center for International Development, Harvard University*.

Popp, D. (2012). The Role of Technological Change in Green Growth. *Policy Research Working Paper* 6239.

Shafik, N. and Bandyopadhyay, S. 1992, *Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence*, vol. 904, Washington, DC: World Bank Publications.

Shahbaz, M., & Sinha, A. (2018). Environmental Kuznets curve for CO2 emissions: a literature survey. *Journal of Economic Studies*.

Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, 32(8), 1419-1439.

Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19(1), 7-28.

Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J. P. (2009). Report by the commission on the measurement of economic performance and social progress.

Thiry, G., & Cassiers, I. (2010). Alternative indicators to GDP: values behind numbers. Adjusted net savings in question. *Discussion papers IRES*, (2010-18).

Source et description des données (avril 2020) :

CO2 : <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>

ENA : <https://data.worldbank.org/indicator/NY.ADJ.SVNG.CD>

REN : <https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS>

ENUSE : <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.GD.PP.KD>

IND : <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.ZS>

IMP : <https://data.worldbank.org/indicator/NE.IMP.GNFS.ZS>

GOV : <https://info.worldbank.org/governance/wgi/>

RND : <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>

KYO : https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-a&chapter=27&clang=_fr

PIB: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>

8. Annexes

8.1. Annexe I : répartition des pays du panel par catégorie de revenus

Tableau 8 : Répartition des pays du panel par catégories de revenu

Revenu élevé	Revenu intermédiaire (tranche supérieure)	Revenu intermédiaire (tranche inférieure)	Revenu Faible
Allemagne Arabie Saoudite Australie Belgique Canada Chili Chypre Croatie Danemark Espagne Estonie États-Unis Finlande France Grèce Hongrie Israël Italie Japon Lettonie Luxembourg Norvège Nouvelle-Zélande Panama Pays-Bas Pologne Portugal Rép. de Corée Rép. Slovaque Rép. Tchèque Royaume-Uni Singapour Slovénie Suède Suisse Uruguay	Afrique du Sud Albanie Argentine Azerbaïdjan Biélorussie Botswana Brésil Bulgarie Chine Colombie Équateur Géorgie Guatemala Jamaïque Jordanie Kazakhstan Liban Macédoine du Nord Malaisie Mexique Namibie Paraguay Pérou Rép. de Maurice Rép. Dominicaine Roumanie Russie Sri Lanka Thaïlande Turquie Venezuela	Angola Bangladesh Bolivie Cambodge Cameroun Égypte Ghana Honduras Inde Indonésie Kenya Kirghizistan Maroc Moldavie Mongolie Nicaragua Nigeria Pakistan Philippines Rép. du Congo Salvador Tunisie Vietnam	Benin Népal Niger Tanzanie

8.2. Annexe II : Statistiques descriptives et matrices de corrélation

8.2.1. Statistiques descriptives

Tableau 9 : Statistiques descriptives pour l'ensemble du panel et les sous-groupes.

Panel complet (94 pays)

Variable	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart type
CO2	5105,30	3930,60	49,00	24824,65	4694,30
ENA	72,65	10,05	-29,61	2118,30	203,75
REN	27,04	19,58	0,01	91,73	23,38
ENUSE	120,86	109,42	47,60	270,00	45,13
IND	28,41	26,41	9,89	77,41	10,23
IMP	45,78	38,78	10,95	208,33	26,00
GOV	0,18	-0,07	-1,38	1,96	0,88
KYO	0,95	1,00	0,00	1,00	0,21

Groupe HINC (36 pays)

Variable	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart type
CO2	8882,80	8083,40	1689,20	24824,65	4595,20
ENA	102,82	45,29	-27,96	1377,80	175,68
REN	16,76	11,49	0,01	58,59	14,24
ENUSE	111,60	105,24	53,40	230,56	33,18
IND	25,40	24,13	9,89	66,76	8,30
IMP	50,29	39,08	10,95	208,33	33,62
GOV	1,11	1,17	-0,48	1,96	0,53
KYO	0,94	1,00	0,00	1,00	0,23

Groupe MINC (31 pays)

Variable	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart type
CO2	4167,10	3614,50	608,06	15646,00	3120,00
ENA	79,27	8,44	-6,14	2118,30	286,61
REN	21,31	16,12	1,15	68,82	17,47
ENUSE	118,38	101,70	47,60	270,00	51,90
IND	31,38	29,97	14,07	66,16	9,39
IMP	41,96	37,36	11,26	95,00	18,98
GOV	-0,24	-0,26	-1,38	0,85	0,47
KYO	0,96	1,00	0,00	1,00	0,21

Groupe LINC (27 pays)

Variable	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart type
CO2	1145,8	904,92	49,00	13447,00	1306,80
ENA	24,82	1,95	-29,61	499,48	75,97
REN	47,31	47,48	2,85	91,73	26,36
ENUSE	136,07	127,29	61,37	257,18	46,80
IND	29,01	26,15	11,26	77,41	12,23
IMP	44,14	38,82	11,64	97,14	19,77
GOV	-0,60	-0,57	-1,29	0,12	0,34
KYO	0,97	1,00	0,00	1,00	0,18

Groupe ALT (48 pays)

Variable	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart type
CO2	7496,00	6845,00	1055,50	24824,65	4315,90
ENA	115,48	20,21	-27,96	2118,30	271,11
REN	14,71	10,45	0,47	58,59	12,68
ENUSE	127,96	109,23	56,18	270,00	48,20
IND	27,05	26,25	9,89	66,16	8,28
IMP	48,31	39,04	10,95	208,33	31,59
GOV	0,56	0,69	-1,05	1,96	0,83
KYO	0,94	1,00	0,00	1,00	0,24
RND	1,34	1,07	0,13	4,43	1,03

8.2.2. Matrices de corrélation

Tableau 10 : Matrices de corrélation

Coefficient de corrélation, utilisant les observations 1:01 - 94:11 (Total)

5% valeur critique (bilatéral) = 0,0610 pour n = 1034

CO2	1,00								
ENA	0,27	1,00							
REN	-0,58	-0,18	1,00						
ENUSE	0,20	0,16	0,08	1,00					
IND	0,00	0,12	-0,05	-0,02	1,00				
IMP	0,13	-0,21	-0,23	-0,01	-0,11	1,00			
GOV	0,61	0,11	-0,39	-0,18	-0,33	0,19	1,00		
KYO	-0,20	-0,17	0,05	-0,08	-0,07	0,06	-0,01	1,00	
	CO2	ENA	REN	ENUSE	IND	IMP	GOV	KYO	

Coefficient de corrélation, utilisant les observations 1:01 - 36:11 (HINC)

5% valeur critique (bilatéral) = 0,0986 pour n = 396

CO2	1,00								
ENA	0,35	1,00							
REN	-0,40	-0,25	1,00						
ENUSE	0,51	0,16	-0,08	1,00					
IND	0,21	0,04	-0,02	0,32	1,00				
IMP	0,09	-0,29	-0,24	-0,16	-0,14	1,00			
GOV	0,21	0,14	0,19	0,09	-0,33	0,09	1,00		
KYO	-0,32	-0,51	0,11	-0,22	0,02	0,09	-0,03	1,00	
	CO2	ENA	REN	ENUSE	IND	IMP	GOV	KYO	

Coefficient de corrélation, utilisant les observations 1:01 - 31:11 (MINC)

5% valeur critique (bilatéral) = 0,1062 pour n = 341

CO2	1,00								
ENA	0,18	1,00							
REN	-0,63	-0,09	1,00						
ENUSE	0,79	0,32	-0,44	1,00					
IND	0,21	0,28	-0,19	0,18	1,00				
IMP	-0,05	-0,24	-0,19	0,08	-0,18	1,00			
GOV	-0,14	-0,14	0,01	-0,19	-0,37	0,36	1,00		
KYO	-0,19	0,04	0,14	-0,13	0,02	0,03	0,09	1,00	
	CO2	ENA	REN	ENUSE	IND	IMP	GOV	KYO	

Coefficient de corrélation, utilisant les observations 1:01 - 27:11 (LINC)

5% valeur critique (bilatéral) = 0,1138 pour n = 297

CO2	1,00								
ENA	0,04	1,00							
REN	-0,64	-0,07	1,00						
ENUSE	-0,03	-0,11	0,27	1,00					
IND	0,15	0,02	-0,12	-0,49	1,00				
IMP	0,23	-0,25	-0,35	0,18	0,06	1,00			
GOV	0,33	0,17	-0,43	0,05	-0,24	0,17	1,00		
KYO	0,06	0,06	-0,11	0,10	-0,29	0,04	0,24	1,00	
	CO2	ENA	REN	ENUSE	IND	IMP	GOV	KYO	

Coefficient de corrélation, utilisant les observations 1:01 - 48:11 (ALT)

5% valeur critique (bilatéral) = 0,0853 pour n = 528

CO2	1,00									
ENA	0,19	1,00								
REN	-0,24	-0,07	1,00							
ENUSE	0,21	0,17	-0,12	1,00						
IND	-0,14	0,20	-0,08	0,27	1,00					
IMP	0,17	-0,25	-0,22	0,01	-0,20	1,00				
GOV	0,51	0,01	0,18	-0,34	-0,45	0,20	1,00			
KYO	-0,24	-0,21	0,09	-0,10	0,01	0,07	-0,01	1,00		
ALT	0,42	0,29	0,07	-0,11	-0,19	-0,02	0,66	-0,04	1,00	
	CO2	ENA	REN	ENUSE	IND	IMP	GOV	KYO	RND	

8.3. Annexe III : Tests préliminaires

8.3.1. Tests de stationnarité des données

Tableau 11 : Résultats des tests de racine unitaire de Levin-Lin-Chu

Test ADF empilé de Levin-Li-Chu

test avec constante avec un retard de (1-L)

Retard du paramètre de troncation de Bartlett : 6

N,T = (94,11), utilisant les 846 observations

$\mu^* = -0,554$, $s^* = 0,919$

		Coefficient	t de Student	z-score	
CO2	S_N = 0,776948,	-0,18	-8,95	-3,75	[0,0001]
ENA	S_N = 0,843374,	-0,34	-14,98	-9,46	[0,0000]
ENA2	S_N = 0,840926,	-0,30	-11,51	-4,80	[0,0000]
ENA3	S_N = 0,909057	-0,29	-9,84	-1,37	[0,0860]
REN	S_N = 0,963269,	-0,18	-13,34	-9,80	[0,0000]
ENUSE	S_N = 0,953068,	-0,27	-14,63	-9,32	[0,0000]
IND	S_N = 0,869453,	-0,31	-13,31	-6,49	[0,0000]
IMP	S_N = 0,825197,	-0,58	-19,59	-11,30	[0,0000]
GOV	S_N = 1,04213,	-0,41	-17,12	-9,27	[0,0000]

Test ADF empilé de Levin-Li-Chu pour RND

test avec constante avec un retard de (1-L)RND

Retard du paramètre de troncation de Bartlett : 6

N,T = (48,11), utilisant les 432 observations

RND	S_N = 1,02052,	-0,15	-6,53	-2,62	[0,0044]
-----	----------------	-------	-------	-------	----------

8.3.2. Tests d'hétéroscédasticité et d'autocorrélation du terme d'erreur

Tableau 12 : Test de White pour l'hétéroscédasticité

Test de White pour l'hétéroscédasticité

MCO, utilisant les 1034 observations

Variable dépendante: uhat^2

Omis pour cause de multicollinéarité parfaite : sq_ENA

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique	
const	3,27163e+07	1,65367e+07	1,978	0,0482	**
ENA	7512,82	120147	0,06253	0,9502	
ENA2	-342,435	464,138	-0,7378	0,4608	
ENA3	1,03267e+012	1,00007e+013	0,1033	0,9178	
REN	120875	204437	0,5913	0,5545	
ENUSE	-249323	110984	-2,246	0,0249	**
IND	-1,03652e+06	395924	-2,618	0,0090	***
IMP	262428	196753	1,334	0,1826	
GOV	-9,03499e+06	5,72946e+06	-1,577	0,1151	
KYO	-2,70418e+07	1,10486e+07	-2,448	0,0146	**

X2_X3	-1,03267e+012	1,00007e+013	-0,1033	0,9178	
X2_X4	3,79236e+09	6,27846e+09	0,6040	0,5460	
X2_X5	-3741,56	1352,60	-2,766	0,0058	***
X2_X6	-172,372	437,715	-0,3938	0,6938	
X2_X7	13064,8	2400,38	5,443	6,63e-08	***
X2_X8	-11095,2	935,796	-11,86	2,12e-030	***
X2_X9	129293	31752,9	4,072	5,04e-05	***
X2_X10	103893	90103,9	1,153	0,2492	
sq_ENA2	-3,79236e+09	6,27846e+09	-0,6040	0,5460	
X3_X4	6,64308e-07	4,63459e-07	1,433	0,1521	
X3_X5	15,7207	6,56799	2,394	0,0169	**
X3_X6	0,378093	2,07112	0,1826	0,8552	
X3_X7	-29,0422	11,7358	-2,475	0,0135	**
X3_X8	24,3174	4,05705	5,994	2,88e-09	***
X3_X9	-368,173	159,006	-2,315	0,0208	**
X3_X10	-465,339	288,763	-1,611	0,1074	
sq_ENA3	-1,20989e-010	8,86032e-011	-1,366	0,1724	
X4_X5	-0,0114374	0,00436266	-2,622	0,0089	***
X4_X6	0,000618927	0,00145669	0,4249	0,6710	
X4_X7	0,00796478	0,00807433	0,9864	0,3242	
X4_X8	-0,0101227	0,00308042	-3,286	0,0011	***
X4_X9	0,297873	0,136087	2,189	0,0288	**
X4_X10	0,539607	0,292313	1,846	0,0652	*
sq_REN	1836,16	1302,36	1,410	0,1589	
X5_X6	-1631,06	567,907	-2,872	0,0042	***
X5_X7	2900,39	2487,65	1,166	0,2439	
X5_X8	-1740,41	1645,67	-1,058	0,2905	
X5_X9	-15363,7	41698,8	-0,3684	0,7126	
X5_X10	-6786,03	107643	-0,06304	0,9497	
sq_ENUSE	186,622	219,277	0,8511	0,3949	
X6_X7	4892,48	1730,22	2,828	0,0048	***
X6_X8	1703,31	615,578	2,767	0,0058	***
X6_X9	-15216,5	16593,5	-0,9170	0,3594	
X6_X10	96508,8	43757,1	2,206	0,0276	**
sq_IND	11962,6	3659,92	3,269	0,0011	***
X7_X8	-18145,1	3009,12	-6,030	2,32e-09	***
X7_X9	-69121,8	106272	-0,6504	0,5156	
X7_X10	253429	188185	1,347	0,1784	
sq_IMP	1518,10	503,972	3,012	0,0027	***
X8_X9	336986	43022,4	7,833	1,24e-014	***
X8_X10	117186	81623,3	1,436	0,1514	
sq_GOV	812140	937239	0,8665	0,3864	

X9_X10	-236351	4,13971e+06	-0,05709	0,9545
--------	---------	-------------	----------	--------

AVERTISSEMENT : la matrice des données est proche d'une matrice singulière!

R2 non-ajusté = 0,608792

Statistique de test: $TR^2 = 629,491172$,

avec p. critique = $P(\text{Chi-deux}(53) > 629,491172) = 0,000000$

Tableau 13 : Test de Wooldridge pour autocorrélation du terme d'erreur

Auxiliary regression including lagged residual:

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique	
const	2578,94	167,69	15,38	2,75E-27	***
ENA	9,30785	0,488698	19,05	7,38E-29	***
ENA2	-0,0102	0,000721446	-14,15	6,45E-36	***
ENA3	2,8017E-6	2,588E-7	10,83	3,73E-018	***
REN	-71,9454	1,14843	-62,65	7,44E-78	***
ENUSE	33,8655	0,658695	51,41	4,27E-70	***
IND	75,2506	2,61129	28,82	3,82E-48	***
IMP	2,56077	1,84966	1,384	0,1695	
GOV	2798,91	33,4058	83,79	2,16E-89	***
KYO	-2777,09	146,04	-19,02	8,31E-34	***
uhat(-1)	0,950118	0,0125317	75,82	2,05E-85	***

n = 940,

R-squared = 0,9794

Wooldridge test for autocorrelation in panel data -

Hypothèse nulle : No first-order autocorrelation ($\rho = 0$)

Statistique de test: $t(93) = 75,8171$

avec p. critique = $P(|t| > 75,8171) = 2,0509e-085$

8.3.3. Diagnostic de panel

Tableau 14 : Diagnostic de panel

Diagnostics: using n = 94 cross-sectional units

Fixed effects estimator allows for differing intercepts by cross-sectional unit

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique	
const	4849,23	490,428	9,888	5,45E-22	***
ENA	9,46890	1,48508	6,376	2,86E-10	***
ENA2	-0,0100354	0,00171801	-5,841	7,16E-09	***
ENA3	3,31643e-06	5,59113e-07	5,932	4,23E-09	***
REN	-69,3712	7,33692	-9,455	2,54E-20	***
ENUSE	12,4097	1,75742	7,061	3,23E-12	***
IND	16,0177	9,84394	1,627	0,104	
IMP	-17,4367	3,53706	-4,93	9,75E-07	***
GOV	660,938	260,838	2,534	0,0114	**
KYO	456,188	126,399	3,609	0,0003	***

AVERTISSEMENT : la matrice des données est proche d'une matrice singulière!

Residual variance: $3,86928e+08/(1034 - 103) = 415605$

Significativité conjointe des différences de moyennes par groupe :

$F(93, 931) = 183,144$ avec p. critique 0

(Une valeur faible de P joue en défaveur de l'hypothèse nulle selon laquelle les MCO empilés sont aussi performants que les effets fixes.)

Variance estimators:

between = $6,39683e+06$

within = 415605

theta used for quasi-demeaning = 0,923373

Random effects estimator

allows for a unit-specific component to the error term

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique	
const	4509,41	544,19	8,286	3,63E-16	***
ENA	9,28130	1,44959	6,403	2,32E-10	***
ENA2	-0,00981175	0,00171622	-5,717	1,42E-08	***
ENA3	3,24734e-06	5,63124e-07	5,767	1,07E-08	***
REN	-72,3921	6,49417	-11,15	2,56E-27	***
ENUSE	14,0871	1,72448	8,169	9,10E-16	***
IND	16,0563	9,51227	1,688	0,0917	*
IMP	-15,0946	3,45063	-4,374	1,34E-05	***
GOV	1474,41	210,565	7,002	4,56E-12	***
KYO	429,229	129,216	3,322	0,0009	***

Breusch-Pagan test statistic:

LM = 3908,83 with p-value = $\text{prob}(\text{chi-square}(1) > 3908,83) = 0$

(Une valeur faible de P joue en défaveur de l'hypothèse nulle selon laquelle le modèle MCO empilé est adéquat, au contraire de l'alternative des effets aléatoires.)

Hausman test statistic:

H = 66,7401 with p-value = $\text{prob}(\text{chi-square}(9) > 66,7401) = 6,61e-11$

(Une valeur faible de P joue en défaveur de l'hypothèse nulle selon laquelle le modèle à effets aléatoires est consistant, en faveur d'un modèle à effets fixes.)

8.3.4. Résultats du Modèle à Effets Fixes reprenant le PIB et interprétations

Afin de pouvoir mettre en perspective les résultats obtenus par lors de régression utilisant l'épargne nette ajustée (ENA), un 3^{ème} modèle est mis en place prenant cette fois-ci le PIB (en milliards USD constants de 2010) pour évaluer si l'utilisation d'un indice alternatif permet de faire apparaître une CEK. Les données sont issues de la Banque Mondiale.

Le modèle s'énonce comme suit :

Modèle 3 :

$$CO2_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 PIB_{it} + \beta_2 PIB_{it}^2 + \beta_3 PIB_{it}^3 + \beta_4 REN_{it} + \beta_5 ENUSE_{it} + \beta_6 IND_{it} + \beta_7 IMP_{it} + \beta_8 GOV_{it} + \beta_9 KYO_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8.1.)$$

Les tableaux ci-dessous synthétisent les valeurs estimées par le FEM des paramètres pour les différents sous-groupes sans variables temporelles (Tableau 15) et avec (Tableau 16). Les symboles *, **, ***, représentent la significativité des variables aux seuils respectifs de 10%, 5% et 1%. Les écarts types sont indiqués entre parenthèses. Les résultats complets de chaque estimation sont présentés en annexe et les modèles correspondants sont indiqués entre parenthèses en haut de chaque colonne.

Tableau 15 : Valeurs des paramètres estimés par le modèle à Effets Fixes sans variables temporelles

	Total (16)	HINC (18)	MINC (20)	LINC (22)	ALT (24)
const	3854,96*** (1211,70)	-1490,08 (3383,49)	3245,47*** (832,33)	2585,62 (1975,28)	5379,87* (3098,35)
PIB	1,89954* (1,01)	6,22** (2,68)	3,14** (1,27)	1,06 (3,15)	1,46 (1,31)
PIB2	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00* (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
PIB3	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
REN	-67,15*** (14,76)	-85,21*** (25,11)	-54,64*** (12,84)	-15,21 (9,98)	-165,42*** (42,13)
ENUSE	14,12*** (4,23)	42,22*** (12,60)	8,87** (3,63)	-5,50 (8,80)	8,58 (7,49)
IND	26,86 (18,03)	66,41 (52,89)	1,44 (11,93)	-20,97 (23,12)	57,16 (44,85)
IMP	-18,92** (9,13)	-24,35 (25,18)	-13,90 (9,42)	5,75* (3,35)	-26,45* (14,91)
GOV	858,20** (359,67)	1986,95** (794,55)	444,03 (374,82)	-335,39 (711,91)	945,30 (702,18)
KYO	466,06** (230,51)	651,30 (492,59)	685,98** (318,83)	58,27 (107,99)	798,16** (321,14)
RND					666,83 (447,34)
R ² LSDV	0,98	0,98	0,99	0,81	0,97
R ² Intra	0,25	0,49	0,49	0,05	0,36

Tableau 16 : Valeurs des paramètres estimés par le modèle à Effets Fixes avec variables temporelles

Total (17) HINC (19) MINC (21) LINC (23) ALT (25)

const	4232,29*** (1222,67)	-876,61 (3426,72)	3227,15*** (739,99)	1964,47 (1537,42)	6408,95* (3260,76)
PIB	1,96* (1,12)	5,61* (3,09)	1,64 (1,41)	-7,03 (7,64)	0,00 (1,81)
PIB2	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,01 (0,01)	0,00 (0,00)
PIB3	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
REN	-66,42*** (14,74)	-82,20*** (23,84)	-48,63*** (12,70)	8,24 (11,41)	-184,99*** (57,31)
ENUSE	14,17*** (4,25)	45,30*** (14,55)	12,99** (4,83)	-2,01 (6,40)	13,31* (6,78)
IND	16,53 (15,77)	58,40 (55,11)	-3,01 (10,80)	-33,15 (30,81)	51,01 (35,05)
IMP	-22,54** (9,82)	-34,84 (26,57)	-20,16* (11,10)	1,92 (3,02)	-38,14** (15,75)
GOV	889,11** (366,50)	2175,69*** (790,70)	372,29 (379,29)	-328,33 (679,97)	1003,44 (736,65)
KYO	451,29** (226,92)	462,48 (494,05)	656,22** (307,61)	-29,47 (91,12)	664,53** (316,92)
RND					691,34 (487,83)
R ² LSDV	0,98	0,98	0,99	0,83	0,97
R ² Intra	0,27	0,51	0,54	0,12	0,39

Les résultats des estimations avec le FEM, avec et sans variables muettes temporelles, sont dans l'ensemble comparables, sauf pour les valeurs du PIB qui varient en ce qui concerne le groupe LINC mais à des seuils non significatifs. L'addition des variables temporelles a une incidence sur les valeurs des paramètres estimés mais leurs signes restent identiques (sauf pour LINC). Les variables temporelles apportent également des variations en terme de significativité des variables.

Les résultats obtenus par les FEM dans le modèle 3 prenant en compte le PIB sont globalement cohérents avec les résultats obtenus via les modèles 1 et 2 avec l'ENA. Il apparaît que les modèles avec l'ENA semblent disposer d'un meilleur pouvoir explicatif et permettent de faire apparaître un début de modèle de CEK (à tout le moins un début d'aplatissement de la courbe via la méthode FEM et avec les réserves émises précédemment) à des seuils significatifs de 1%. Alors que les modèles avec le PIB s'orientent plus vers une relation linéaire positive entre les émissions de CO₂ et le développement économique d'un pays mais seulement à un seuil de 10% pour la totalité du panel. Enfin, il est intéressant de souligner que les variables REN et ENUSE semblent avoir des effets similaires que ce soit en utilisant le PIB ou l'ENA comme variable explicative. Seules les valeurs des coefficients estimés sont légèrement plus faibles que ceux obtenus avec les modèles reprenant l'ENA. Nous constatons cependant quelques différences que nous proposons de souligner ci-dessous.

PIB : les différentes estimations semblent prédire ici aussi une relation linéaire positive entre le PIB et les émissions de CO₂ avec un coefficient de 1,96, soit une augmentation de près de 2 kg d'émissions de CO₂ *per capita* pour une augmentation d'un milliard de dollars USD du PIB. Mais ces résultats souffrent d'un manque de significativité ce qui empêche une analyse fine.

Ces résultats semblent plutôt aller dans le sens de l'opinion de Stern (2004, p. 1420) selon qui la CEK n'existe pas et les émissions de polluants ont tendance à augmenter de façon monotone avec la richesse d'un pays. L'absence de CEK est appuyée par les estimations avec une valeur de 0,00 pour les coefficients de PIB2 et PIB3 lorsque ceux-ci sont significatifs. Or cela n'est le cas que dans une seule régression (MINC sans variables temporelles).

REN : Ces résultats restent cohérents avec ceux obtenus dans les modèles reprenant l'ENA. Ainsi, si l'on observe des différences dans les valeurs des paramètres estimés, les modèles prédisent dans tous les cas une diminution des émissions de CO₂ lors d'une augmentation de l'utilisation d'énergies renouvelables. Ces résultats vont dans le sens de ceux obtenus par les précédents modèles avec l'ENA et présentent une significativité au seuil de 1% dans la plupart des cas. Ils appuient donc notre hypothèse en faveur de l'utilisation d'énergies renouvelables.

ENUSE : ici également, les valeurs obtenues sont cohérentes avec les résultats obtenus avec l'ENA. Les modèles prédisent une augmentation de émissions de CO₂ liée à l'augmentation de la consommation d'énergie, bien que les coefficients soient inférieurs à ceux estimés avec l'ENA.

IND : la variable n'est significative dans aucun cas et ne peut donner lieu à interprétation.

IMP : à l'instar des résultats obtenus avec les MCO et FEM avec l'ENA, les FEM donnent ici des résultats mitigés. Les variables ne dépassent elles-aussi pas le seuil de 5% de significativité et si quatre résultats montrent un signe négatif (hypothèse du « havre de pollution »), un coefficient est néanmoins positif (LINC).

GOV : lorsqu'elle est significative, la variable GOV semble également influencer à la hausse les émissions de CO₂. Le coefficient estimé par les FEM du modèle avec le PIB est comparable pour le groupe HINC, mais nettement inférieur dans les deux cas pour la totalité du panel, comme dans notre analyse avec l'ENA.

KYO : les résultats obtenus par les FEM avec le PIB sont proches de ceux estimés par les FEM avec l'ENA. Les coefficients montrent ici un signe positif dans tous les cas (sauf pour LINC mais à un seuil non significatif). Ceci pourrait être expliqué par l'isolation des effets individuels et temporels. Si certains pays font effectivement des efforts, les émissions totales pour chaque groupe restent malgré tout en augmentation.

RND : la variable n'est significative dans aucun cas et ne peut donner lieu à interprétation. Les résultats sont donc peu concluants. Les dépenses en RND ne faisant pas la distinction sur le type de recherches, la variable traduit probablement une estimation du développement économique général plutôt que des efforts entrepris en terme de réduction des émissions de CO₂ ce qui ne permet pas de bien déterminer ses effets.

Comme pour les résultats obtenus par les FEM pour les modèles reprenant l'ENA, nous constatons que les variables qui présentent le plus d'impact en vue d'une réduction des émissions de CO₂ sont, selon les prédictions du modèle, une augmentation de l'utilisation d'énergie renouvelable couplée à la diminution de la consommation totale d'énergie.

8.4. Annexe IV : Résultats détaillés des régressions

Modèle (1) : MCO empilés, utilisant les 1034 observations

94 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	2917,87	1681,03	1,736	0,0859	*
ENA	9,85487	5,73911	1,717	0,0893	*
ENA2	-0,0118319	0,00978324	-1,209	0,2296	
ENA3	3,51388e-06	3,78281e-06	0,9289	0,3553	
REN	-69,7433	11,4149	-6,110	2,30e-08	***
ENUSE	32,4117	5,93187	5,464	3,87e-07	***
IND	69,7243	35,9170	1,941	0,0553	*
IMP	1,26938	22,3799	0,05672	0,9549	
GOV	2877,13	363,114	7,923	4,90e-012	***
KYO	-2905,41	952,881	-3,049	0,0030	***

Moy. var. dép.	5105,295	Éc. type var. dép.	4694,259
Somme carrés résidus	7,47e+09	Éc. type de régression	2700,127
R2	0,672030	R2 ajusté	0,669148
F(9, 93)	26,72972	p. critique (F)	3,66e-22
Log de vraisemblance	-9631,848	Critère d'Akaike	19283,70
Critère de Schwarz	19333,11	Hannan-Quinn	19302,45
rho	0,948327	Durbin-Watson	0,062535

Modèle (2) : Effets fixes, utilisant les 1034 observations

94 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	4849,23	1024,58	4,733	<0,0001	***
ENA	9,46890	2,62354	3,609	0,0005	***
ENA2	-0,0100354	0,00329978	-3,041	0,0031	***
ENA3	3,31643e-06	1,03899e-06	3,192	0,0019	***
REN	-69,3712	14,3297	-4,841	<0,0001	***
ENUSE	12,4097	3,82901	3,241	0,0017	***
IND	16,0177	17,5499	0,9127	0,3638	
IMP	-17,4367	8,96021	-1,946	0,0547	*
GOV	660,938	363,127	1,820	0,0720	*
KYO	456,188	203,082	2,246	0,0271	**

Moy. var. dép.	5105,295	Éc. type var. dép.	4694,259
Somme carrés résidus	3,87e+08	Éc. type de régression	644,6742
R2 - LSDV	0,983002	R2 intra	0,249238
Log de vraisemblance	-8101,616	Critère d'Akaike	16409,23
Critère de Schwarz	16918,17	Hannan-Quinn	16602,35
rho	0,582390	Durbin-Watson	0,763069

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 93) = 8,79792$

avec p. critique = $P(F(9, 93) > 8,79792) = 1,82187e-009$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(93, 320,0) = 206,633$

avec p. critique = $P(F(93, 320,0) > 206,633) = 9,13594e-241$

Modèle (3) : Effets fixes, utilisant les 1034 observations

94 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	4905,32	1034,37	4,742	<0,0001	***
ENA	9,22714	2,59393	3,557	0,0006	***
ENA2	-0,00981552	0,00312949	-3,136	0,0023	***
ENA3	3,26654e-06	9,72006e-07	3,361	0,0011	***
REN	-67,9022	14,3766	-4,723	<0,0001	***
ENUSE	14,0677	4,14960	3,390	0,0010	***
IND	10,8196	15,4399	0,7008	0,4852	
IMP	-21,6398	9,70869	-2,229	0,0282	**
GOV	680,857	364,238	1,869	0,0647	*
KYO	396,732	207,090	1,916	0,0585	*
dt_2	23,3727	48,0629	0,4863	0,6279	
dt_3	126,257	62,4837	2,021	0,0462	**
dt_4	111,012	88,3381	1,257	0,2120	
dt_5	287,880	111,191	2,589	0,0112	**
dt_6	14,1072	94,0971	0,1499	0,8812	
dt_7	158,612	106,674	1,487	0,1404	
dt_8	161,051	112,757	1,428	0,1566	
dt_9	120,548	116,376	1,036	0,3030	
dt_10	173,467	145,492	1,192	0,2362	
dt_11	5,35317	130,683	0,04096	0,9674	

Moy. var. dép.	5105,295	Éc. type var. dép.	4694,259
Somme carrés résidus	3,80e+08	Éc. type de régression	642,7274
R2 - LSDV	0,983286	R2 intra	0,261780
Log de vraisemblance	-8092,905	Critère d'Akaike	16411,81
Critère de Schwarz	16970,16	Hannan-Quinn	16623,68
rho	0,593988	Durbin-Watson	0,740944

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 93) = 8,51656$

avec p. critique = $P(F(9, 93) > 8,51656) = 3,42073e-009$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(93, 320,0) = 183,976$

avec p. critique = $P(F(93, 320,0) > 183,976) = 7,07929e-233$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 24,0147

avec p. critique = 0,00756144

Modèle (4) : MCO empilés, utilisant les 396 observations

36 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	986,359	2580,27	0,3823	0,7046	
ENA	-2,14567	10,4828	-0,2047	0,8390	
ENA2	0,00965209	0,0223388	0,4321	0,6683	
ENA3	-3,85023e-06	1,20598e-05	-0,3193	0,7514	
REN	-121,091	41,2242	-2,937	0,0058	***
ENUSE	49,6647	13,0962	3,792	0,0006	***
IND	122,129	104,098	1,173	0,2486	
IMP	13,4622	29,8733	0,4506	0,6550	
GOV	2660,05	1014,42	2,622	0,0128	**
KYO	-2563,34	1754,02	-1,461	0,1528	

Moy. var. dép.	8882,834	Éc. type var. dép.	4595,178
Somme carrés résidus	3,91e+09	Éc. type de régression	3184,665
R2	0,530632	R2 ajusté	0,519689
F(9, 35)	9,377950	p. critique (F)	4,44e-07
Log de vraisemblance	-3751,012	Critère d'Akaike	7522,024
Critère de Schwarz	7561,838	Hannan-Quinn	7537,797
rho	0,940628	Durbin-Watson	0,047735

Modèle (5) : Effets fixes, utilisant les 396 observations

36 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	2618,12	3095,41	0,8458	0,4034	
ENA	10,0537	4,80062	2,094	0,0435	**
ENA2	-0,0119454	0,00765402	-1,561	0,1276	
ENA3	4,08856e-06	3,63676e-06	1,124	0,2686	
REN	-83,0505	24,8979	-3,336	0,0020	***
ENUSE	34,2482	10,4450	3,279	0,0024	***
IND	41,9315	61,1154	0,6861	0,4972	
IMP	-21,2519	25,7075	-0,8267	0,4140	
GOV	2309,05	758,723	3,043	0,0044	***
KYO	637,910	329,660	1,935	0,0611	*

Moy. var. dép.	8882,834	Éc. type var. dép.	4595,178
Somme carrés résidus	1,83e+08	Éc. type de régression	721,5541
R2 - LSDV	0,978090	R2 intra	0,462875
Log de vraisemblance	-3144,253	Critère d'Akaike	6378,505
Critère de Schwarz	6557,669	Hannan-Quinn	6449,484
rho	0,523602	Durbin-Watson	0,849588

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 35) = 17,4277$

avec p. critique = $P(F(9, 35) > 17,4277) = 1,77298e-010$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(35, 126,7) = 185,158$

avec p. critique = $P(F(35, 126,7) > 185,158) = 6,42801e-93$

Modèle (6) : Effets fixes, utilisant les 396 observations

36 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écart type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	1796,59	3291,75	0,5458	0,5887	
ENA	9,73231	4,89732	1,987	0,0548	*
ENA2	-0,0110499	0,00769879	-1,435	0,1601	
ENA3	3,66201e-06	3,66247e-06	0,9999	0,3242	
REN	-94,0372	25,8011	-3,645	0,0009	***
ENUSE	43,8945	13,3863	3,279	0,0024	***
IND	54,6711	61,0565	0,8954	0,3767	
IMP	-33,6346	26,9589	-1,248	0,2205	
GOV	2281,29	735,497	3,102	0,0038	***
KYO	351,430	388,899	0,9037	0,3724	

Moy. var. dép.	8882,834	Éc. type var. dép.	4595,178
Somme carrés résidus	1,71e+08	Éc. type de régression	707,9989
R2 - LSDV	0,979506	R2 intra	0,497600
Log de vraisemblance	-3131,020	Critère d'Akaike	6372,039
Critère de Schwarz	6591,017	Hannan-Quinn	6458,792
rho	0,521746	Durbin-Watson	0,848113

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 35) = 8,44546$

avec p. critique = $P(F(9, 35) > 8,44546) = 1,4358e-006$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(35, 126,5) = 190,92$

avec p. critique = $P(F(35, 126,5) > 190,92) = 1,23466e-93$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 25,4641

avec p. critique = 0,00453195

Modèle (7) : MCO empilés, utilisant les 341 observations

31 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écart type robuste (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	1739,23	1243,29	1,399	0,1721	
ENA	7,35874	7,48488	0,9831	0,3334	
ENA2	-0,0167231	0,00840701	-1,989	0,0559	*
ENA3	6,48425e-06	2,45823e-06	2,638	0,0131	***
REN	-60,5246	11,2852	-5,363	<0,0001	***
ENUSE	42,4649	6,69916	6,339	<0,0001	***
IND	19,0363	28,7817	0,6614	0,5134	
IMP	-29,3071	15,3967	-1,903	0,0666	*
GOV	508,708	370,766	1,372	0,1802	
KYO	-655,901	708,069	-0,9263	0,3617	

Moy. var. dép.	4167,093	Éc. type var. dép.	3120,025
Somme carrés résidus	6,53e+08	Éc. type de régression	1404,907
R2	0,802609	R2 ajusté	0,797242
F(9, 30)	18,61576	p. critique (F)	5,62e-10
Log de vraisemblance	-2950,258	Critère d'Akaike	5920,516
Critère de Schwarz	5958,835	Hannan-Quinn	5935,783
rho	0,901655	Durbin-Watson	0,114915

Modèle (8) : Effets fixes, utilisant les 341 observations

31 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écart type robuste (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	4367,59	706,030	6,186	<0,0001	***
ENA	8,89058	1,87704	4,736	<0,0001	***
ENA2	-0,00450459	0,00133004	-3,387	0,0020	***
ENA3	1,08715e-06	3,12663e-07	3,477	0,0016	***
REN	-61,2994	14,1928	-4,319	0,0002	***
ENUSE	7,49212	3,32177	2,255	0,0316	**
IND	-11,6462	14,2198	-0,8190	0,4192	
IMP	-12,5865	9,18366	-1,371	0,1807	
GOV	336,433	370,372	0,9084	0,3709	
KYO	756,864	280,054	2,703	0,0112	**

Moy. var. dép.	4167,093	Éc. type var. dép.	3120,025
Somme carrés résidus	40360057	Éc. type de régression	366,1783
R2 - LSDV	0,987806	R2 intra	0,459440
Log de vraisemblance	-2475,548	Critère d'Akaike	5031,097
Critère de Schwarz	5184,372	Hannan-Quinn	5092,164
rho	0,408654	Durbin-Watson	0,997303

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 30) = 40,5443$

avec p. critique = $P(F(9, 30) > 40,5443) = 2,28028e-014$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(30, 110,1) = 73,2593$

avec p. critique = $P(F(30, 110,1) > 73,2593) = 1,50424e-59$

Modèle (9) : Effets fixes, utilisant les 341 observations

31 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	3539,28	696,040	5,085	<0,0001	***
ENA	5,48702	1,75718	3,123	0,0039	***
ENA2	-0,00251115	0,00117903	-2,130	0,0415	**
ENA3	7,22287e-07	2,72550e-07	2,650	0,0127	**
REN	-52,4381	13,4016	-3,913	0,0005	***
ENUSE	13,1787	4,77472	2,760	0,0098	***
IND	-5,48112	11,1657	-0,4909	0,6271	
IMP	-19,3926	10,9089	-1,778	0,0856	*
GOV	236,833	378,062	0,6264	0,5358	
KYO	651,851	285,681	2,282	0,0298	**

Moy. var. dép.	4167,093	Éc. type var. dép.	3120,025
Somme carrés résidus	35362892	Éc. type de régression	348,6000
R2 - LSDV	0,989316	R2 intra	0,526369
Log de vraisemblance	-2453,012	Critère d'Akaike	5006,024
Critère de Schwarz	5197,618	Hannan-Quinn	5082,358
rho	0,450940	Durbin-Watson	0,911021

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 30) = 16,6575$

avec p. critique = $P(F(9, 30) > 16,6575) = 2,15437e-009$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(30, 110,1) = 46,1685$

avec p. critique = $P(F(30, 110,1) > 46,1685) = 2,32383e-49$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 29,6164

avec p. critique = 0,000989519

Modèle (10) : MCO empilés, utilisant les 297 observations

27 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	1398,08	566,488	2,468	0,0205	**
ENA	-0,684850	6,25561	-0,1095	0,9137	
ENA2	-0,00373789	0,0293774	-0,1272	0,8997	
ENA3	1,11122e-05	3,65719e-05	0,3038	0,7637	
REN	-33,3170	9,58070	-3,478	0,0018	***
ENUSE	7,47475	5,40695	1,382	0,1786	
IND	24,8940	13,6207	1,828	0,0791	*
IMP	-6,04156	5,41601	-1,116	0,2748	
GOV	367,412	427,688	0,8591	0,3982	
KYO	86,8667	146,719	0,5921	0,5589	

Moy. var. dép.	1145,771	Éc. type var. dép.	1306,832
Somme carrés résidus	2,71e+08	Éc. type de régression	971,4384
R2	0,464226	R2 ajusté	0,447425
F(9, 26)	5,752725	p. critique (F)	0,000211
Log de vraisemblance	-2459,336	Critère d'Akaike	4938,671
Critère de Schwarz	4975,609	Hannan-Quinn	4953,459
rho	0,881515	Durbin-Watson	0,272572

Modèle (11) : Effets fixes, utilisant les 297 observations

27 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écart type robuste (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	2542,34	1443,63	1,761	0,0900	*
ENA	6,99326	2,26244	3,091	0,0047	***
ENA2	-0,0179850	0,00899002	-2,001	0,0560	*
ENA3	1,73585e-05	8,92113e-06	1,946	0,0626	*
REN	-15,4774	8,09419	-1,912	0,0669	*
ENUSE	-6,16931	7,94548	-0,7765	0,4445	
IND	-21,1960	21,5431	-0,9839	0,3342	
IMP	6,25971	3,51605	1,780	0,0867	*
GOV	-515,291	821,024	-0,6276	0,5357	
KYO	108,220	111,536	0,9703	0,3409	

Moy. var. dép.	1145,771		Éc. type var. dép.	1306,832
Somme carrés résidus	95265973		Éc. type de régression	604,1554
R2 - LSDV	0,811545		R2 intra	0,051975
Log de vraisemblance	-2304,175		Critère d'Akaike	4680,349
Critère de Schwarz	4813,324		Hannan-Quinn	4733,584
rho	0,578239		Durbin-Watson	0,758945

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 26) = 55,7307$

avec p. critique = $P(F(9, 26) > 55,7307) = 1,01507e-014$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(26, 96,8) = 139,26$

avec p. critique = $P(F(26, 96,8) > 139,26) = 2,37058e-65$

Modèle (12) : Effets fixes, utilisant les 297 observations

27 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écart type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	1033,15	732,956	1,410	0,1705	
ENA	4,37826	2,55030	1,717	0,0979	*
ENA2	-0,00958471	0,0124391	-0,7705	0,4479	
ENA3	7,35214e-06	1,68688e-05	0,4358	0,6665	
REN	6,96650	9,45702	0,7366	0,4679	
ENUSE	-1,10307	5,19910	-0,2122	0,8336	
IND	-27,9038	26,0624	-1,071	0,2942	
IMP	3,48206	2,75812	1,262	0,2180	
GOV	-535,170	808,757	-0,6617	0,5140	
KYO	-33,8267	112,476	-0,3007	0,7660	

Moy. var. dép.	1145,771	Éc. type var. dép.	1306,832
Somme carrés résidus	88930120	Éc. type de régression	595,2338
R2 - LSDV	0,824079	R2 intra	0,115025
Log de vraisemblance	-2293,955	Critère d'Akaike	4679,909
Critère de Schwarz	4849,821	Hannan-Quinn	4747,931
rho	0,578102	Durbin-Watson	0,763517

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 26) = 1,64002$

avec p. critique = $P(F(9, 26) > 1,64002) = 0,155693$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(26, 96,8) = 100,186$

avec p. critique = $P(F(26, 96,8) > 100,186) = 1,02276e-58$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : $\text{Chi-deux}(10) = 12,7734$

avec p. critique = 0,236621

Modèle (13) : MCO empilés, utilisant les 528 observations

48 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	4499,63	2078,73	2,165	0,0355	**
ENA	1,26656	6,49075	0,1951	0,8461	
ENA2	5,85967e-05	0,00975302	0,006008	0,9952	
ENA3	-2,16282e-07	3,53067e-06	-0,06126	0,9514	
REN	-102,241	31,2053	-3,276	0,0020	***
ENUSE	33,9908	8,46518	4,015	0,0002	***
IND	30,5036	54,4526	0,5602	0,5780	
IMP	-0,983561	23,9737	-0,04103	0,9674	
GOV	3784,71	671,716	5,634	<0,0001	***
KYO	-2935,23	1343,48	-2,185	0,0339	**
RND	-89,8850	406,524	-0,2211	0,8260	

Moy. var. dép.	7495,975	Éc. type var. dép.	4315,886
Somme carrés résidus	4,30e+09	Éc. type de régression	2883,961
R2	0,561955	R2 ajusté	0,553482
F(10, 47)	18,16928	p. critique (F)	5,61e-13
Log de vraisemblance	-4950,175	Critère d'Akaike	9922,350
Critère de Schwarz	9969,311	Hannan-Quinn	9940,734
rho	0,927565	Durbin-Watson	0,074366

Modèle (14) : Effets fixes, utilisant les 528 observations

48 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	6555,80	2663,43	2,461	0,0176	**
ENA	8,95722	2,75062	3,256	0,0021	***
ENA2	-0,00917137	0,00284523	-3,223	0,0023	***
ENA3	2,83009e-06	8,42488e-07	3,359	0,0016	***
REN	-170,661	38,9816	-4,378	<0,0001	***
ENUSE	7,31061	6,79890	1,075	0,2877	
IND	40,4282	42,8890	0,9426	0,3507	
IMP	-26,5444	14,4421	-1,838	0,0724	*
GOV	738,286	713,546	1,035	0,3061	
KYO	728,701	290,971	2,504	0,0158	**
RND	762,875	431,310	1,769	0,0834	*

Moy. var. dép.	7495,975	Éc. type var. dép.	4315,886
Somme carrés résidus	2,95e+08	Éc. type de régression	792,6001
R2 - LSDV	0,969922	R2 intra	0,363028
Log de vraisemblance	-4243,048	Critère d'Akaike	8602,096
Critère de Schwarz	8849,703	Hannan-Quinn	8699,029
rho	0,516189	Durbin-Watson	0,892003

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(10, 47) = 12,4287$

avec p. critique = $P(F(10, 47) > 12,4287) = 3,54684e-010$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(47, 166,7) = 174,256$

avec p. critique = $P(F(47, 166,7) > 174,256) = 7,12289e-120$

Modèle (15) : Effets fixes, utilisant les 528 observations

48 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	6324,84	2480,06	2,550	0,0141	**
ENA	8,68097	2,74105	3,167	0,0027	***
ENA2	-0,00901871	0,00267546	-3,371	0,0015	***
ENA3	2,80449e-06	7,60526e-07	3,688	0,0006	***
REN	-181,604	46,1780	-3,933	0,0003	***
ENUSE	13,6398	6,66224	2,047	0,0462	**
IND	43,0129	33,9916	1,265	0,2120	
IMP	-36,1244	15,6416	-2,310	0,0254	**
GOV	751,538	748,169	1,005	0,3203	
KYO	569,531	320,816	1,775	0,0823	*
RND	626,020	482,116	1,298	0,2005	
dt_2	44,3643	90,8878	0,4881	0,6277	
dt_3	238,766	116,492	2,050	0,0460	**
dt_4	269,511	159,322	1,692	0,0973	*
dt_5	492,598	192,191	2,563	0,0136	**
dt_6	110,897	211,995	0,5231	0,6034	
dt_7	492,123	215,831	2,280	0,0272	**
dt_8	474,586	225,988	2,100	0,0411	**
dt_9	425,171	235,706	1,804	0,0777	*
dt_10	639,978	346,802	1,845	0,0713	*
dt_11	364,227	288,893	1,261	0,2136	

Moy. var. dép.	7495,975	Éc. type var. dép.	4315,886
Somme carrés résidus	2,83e+08	Éc. type de régression	784,5649
R2 - LSDV	0,971155	R2 intra	0,389157
Log de vraisemblance	-4231,990	Critère d'Akaike	8599,980
Critère de Schwarz	8890,279	Hannan-Quinn	8713,626
rho	0,541499	Durbin-Watson	0,846585

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(10, 47) = 8,51106$

avec p. critique = $P(F(10, 47) > 8,51106) = 1,01493e-007$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(47, 166,7) = 130,717$

avec p. critique = $P(F(47, 166,7) > 130,717) = 9,10705e-110$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 29,2916

avec p. critique = 0,00111753

Modèle (16) : Effets fixes, utilisant les 1034 observations (PIB (milliards USD 2010) à la place de l'ENA)

94 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	Coefficient	Erreur Std	t de Student	p. critique	
const	3854,96	1211,70	3,181	0,0020	***
PIB	1,89954	1,01013	1,880	0,0632	*
PIB2	-9,74147e-05	0,000121909	-0,7991	0,4263	
PIB3	-2,30348e-010	4,03178e-09	-0,05713	0,9546	
REN	-67,1508	14,7612	-4,549	<0,0001	***
ENUSE	14,1231	4,22735	3,341	0,0012	***
IND	26,8637	18,0275	1,490	0,1396	
IMP	-18,9174	9,12762	-2,073	0,0410	**
GOV	858,197	359,668	2,386	0,0191	**
KYO	466,064	230,505	2,022	0,0461	**

Moy. var. dép.	5105,295	Éc. type var. dép.	4694,259
Somme carrés résidus	3,86e+08	Éc. type de régression	643,5024
R2 – LSDV	0,983064	R2 intra	0,251964
Log de vraisemblance	-8099,734	Critère d'Akaike	16405,47
Critère de Schwarz	16914,41	Hannan-Quinn	16598,59
Rho	0,583843	Durbin-Watson	0,758765

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 93) = 6,50358$

avec p. critique = $P(F(9, 93) > 6,50358) = 3,88178e-007$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(93, 319,9) = 297,262$

avec p. critique = $P(F(93, 319,9) > 297,262) = 1,56825e-265$

Modèle (17) : Effets fixes, utilisant les 1034 observations (PIB à la place de l'ENA)

94 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	4232,29	1222,67	3,462	0,0008	***
PIB	1,96150	1,12118	1,750	0,0835	*
PIB2	-0,000104992	0,000135200	-0,7766	0,4394	
PIB3	3,12527e-011	4,40988e-09	0,007087	0,9944	
REN	-66,4196	14,7357	-4,507	<0,0001	***
ENUSE	14,1711	4,24848	3,336	0,0012	***
IND	16,5289	15,7733	1,048	0,2974	
IMP	-22,5392	9,82236	-2,295	0,0240	**
GOV	889,107	366,495	2,426	0,0172	**
KYO	451,288	226,918	1,989	0,0497	**
dt_2	13,1404	49,0015	0,2682	0,7892	
dt_3	115,133	61,9103	1,860	0,0661	*
dt_4	85,2924	92,6899	0,9202	0,3599	
dt_5	217,006	116,413	1,864	0,0655	*
dt_6	-106,769	98,1175	-1,088	0,2793	
dt_7	74,5981	110,641	0,6742	0,5018	
dt_8	62,2969	123,829	0,5031	0,6161	
dt_9	24,4760	131,893	0,1856	0,8532	
dt_10	64,0844	169,154	0,3789	0,7057	
dt_11	-89,8429	145,408	-0,6179	0,5382	

Moy. var. dép.	5105,295	Éc. type var. dép.	4694,259
Somme carrés résidus	3,79e+08	Éc. type de régression	641,2435
R2 – LSDV	0,983363	R2 intra	0,265185
Log de vraisemblance	-8090,515	Critère d'Akaike	16407,03
Critère de Schwarz	16965,38	Hannan-Quinn	16618,90
rho	0,594557	Durbin-Watson	0,737320

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 93) = 6,73009$

avec p. critique = $P(F(9, 93) > 6,73009) = 2,23412e-007$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(93, 320,0) = 191,13$

avec p. critique = $P(F(93, 320,0) > 191,13) = 1,80704e-235$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 28,0981

avec p. critique = 0,00174112

Modèle (18) Effets fixes sans variables temporelles, utilisant les 396 observations (PIB à la place de l'ENA)

36 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	-1490,08	3383,49	-0,4404	0,6624	
PIB	6,21663	2,67821	2,321	0,0262	**
PIB2	-0,000687506	0,000415191	-1,656	0,1067	
PIB3	2,01098e-08	1,78321e-08	1,128	0,2671	
REN	-85,2081	25,1114	-3,393	0,0017	***
ENUSE	42,2160	12,5976	3,351	0,0019	***
IND	66,4115	52,8875	1,256	0,2175	
IMP	-24,3482	25,1809	-0,9669	0,3402	
GOV	1986,95	794,552	2,501	0,0172	**
KYO	651,295	492,589	1,322	0,1947	

Moy. var. dép.	8882,834	Éc. type var. dép.	4595,178
Somme carrés résidus	1,74e+08	Éc. type de régression	703,8270
R2 – LSDV	0,979153	R2 intra	0,488943
Log de vraisemblance	-3134,402	Critère d'Akaike	6358,804
Critère de Schwarz	6537,968	Hannan-Quinn	6429,784
rho	0,501681	Durbin-Watson	0,865792

Test conjoint des regresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 35) = 11,3462$

avec p. critique = $P(F(9, 35) > 11,3462) = 4,6735e-008$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(35, 126,7) = 199,402$

avec p. critique = $P(F(35, 126,7) > 199,402) = 6,52814e-095$

Modèle (19) Effets fixes avec variables temporelles, utilisant les 396 observations (PIB à la place de l'ENA)

36 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	-876,614	3426,72	âˆ’0,2558	0,7996	
PIB	5,60783	3,08534	1,818	0,0777	*
PIB2	-0,000688952	0,000452417	âˆ’1,523	0,1368	
PIB3	2,09759e-08	1,61435e-08	1,299	0,2023	
REN	-82,1978	23,8422	âˆ’3,448	0,0015	***
ENUSE	45,2973	14,5445	3,114	0,0037	***
IND	58,4016	55,1113	1,060	0,2965	
IMP	-34,8391	26,5739	âˆ’1,311	0,1984	
GOV	2175,69	790,696	2,752	0,0093	***
KYO	462,476	494,050	0,9361	0,3556	

Moy. var. dép.	8882,834	Éc. type var. dép.	4595,178
Somme carrés résidus	1,66e+08	Éc. type de régression	698,5128
R2 – LSDV	0,980052	R2 intra	0,510972
Log de vraisemblance	-3125,678	Critère d'Akaike	6361,356
Critère de Schwarz	6580,334	Hannan-Quinn	6448,108
rho	0,507837	Durbin-Watson	0,860218

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 35) = 7,03118$

avec p. critique = $P(F(9, 35) > 7,03118) = 9,93282e-006$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(35, 126,7) = 215,286$

avec p. critique = $P(F(35, 126,7) > 215,286) = 5,20507e-097$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 20,0196

avec p. critique = 0,0290682

Modèle (20) Effets fixes sans variables temporelles, utilisant les 341 observations (PIB à la place de l'ENA)

31 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	3245,47	832,331	3,899	0,0005	***
PIB	3,13763	1,27109	2,468	0,0195	**
PIB2	-0,000400051	0,000232128	-1,723	0,0951	*
PIB3	2,10391e-08	1,36886e-08	1,537	0,1348	
REN	-54,6430	12,8358	-4,257	0,0002	***
ENUSE	8,87235	3,63357	2,442	0,0207	**
IND	1,44129	11,9250	0,1209	0,9046	
IMP	-13,9044	9,41754	-1,476	0,1502	
GOV	444,026	374,815	1,185	0,2455	
KYO	685,975	318,825	2,152	0,0396	**

Moy. var. dép.	4167,093	Éc. type var. dép.	3120,025
Somme carrés résidus	38112832	Éc. type de régression	355,8380
R2 – LSDV	0,988485	R2 intra	0,489538
Log de vraisemblance	-2465,781	Critère d'Akaike	5011,561
Critère de Schwarz	5164,836	Hannan-Quinn	5072,628
rho	0,429754	Durbin-Watson	0,962893

Test conjoint des regresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 30) = 9,23366$

avec p. critique = $P(F(9, 30) > 9,23366) = 1,51939e-006$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(30, 110,0) = 69,0974$

avec p. critique = $P(F(30, 110,0) > 69,0974) = 3,16773e-058$

Modèle (21)) Effets fixes avec variables temporelles, utilisant les 341 observations (PIB à la place de l'ENA)

31 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	3227,15	739,990	4,361	0,0001	***
PIB	1,63981	1,41000	1,163	0,2540	
PIB2	-0,000134430	0,000251104	-0,5354	0,5964	
PIB3	6,05297e-09	1,45746e-08	0,4153	0,6809	
REN	-48,6337	12,7037	-3,828	0,0006	***
ENUSE	12,9876	4,83000	2,689	0,0116	**
IND	-3,01357	10,8027	-0,2790	0,7822	
IMP	-20,1629	11,0988	-1,817	0,0793	*
GOV	372,290	379,289	0,9815	0,3342	
KYO	656,221	307,607	2,133	0,0412	**

Moy. var. dép.	4167,093	Éc. type var. dép.	4694,259
Somme carrés résidus	34691387	Éc. type de régression	641,2435
R2 – LSDV	0,989518	R2 intra	0,265185
Log de vraisemblance	-2449,743	Critère d'Akaike	16407,03
Critère de Schwarz	5191,081	Hannan-Quinn	16618,90
rho	0,458253	Durbin-Watson	0,737320

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 30) = 4,61154$

avec p. critique = $P(F(9, 30) > 4,61154) = 0,000701684$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(30, 110,1) = 46,6769$

avec p. critique = $P(F(30, 110,1) > 46,6769) = 1,33414e-049$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 35,922

avec p. critique = 8,68137e-005

Modèle (22) Effets fixes sans variables temporelles, utilisant les 297 observations (PIB à la place de l'ENA)

27 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	2585,62	1975,28	1,309	0,2020	
PIB	1,06319	3,15464	0,3370	0,7388	
PIB2	-0,000200369	0,00228639	-0,08764	0,9308	
PIB3	-1,39918e-08	5,67868e-07	-0,02464	0,9805	
REN	-15,2075	9,97847	-1,524	0,1396	
ENUSE	-5,49847	8,79757	-0,6250	0,5374	
IND	-20,9659	23,1228	-0,9067	0,3729	
IMP	5,74668	3,35433	1,713	0,0986	*
GOV	-335,388	711,908	-0,4711	0,6415	
KYO	58,2719	107,989	0,5396	0,5941	

Moy. var. dép.	1145,771	Éc. type var. dép.	1306,832
Somme carrés résidus	95833961	Éc. type de régression	605,9537
R2 – LSDV	0,810422	R2 intra	0,046323
Log de vraisemblance	-2305,057	Critère d'Akaike	4682,115
Critère de Schwarz	4815,089	Hannan-Quinn	4735,349
rho	0,582447	Durbin-Watson	0,750025

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 26) = 2,03298$
avec p. critique = $P(F(9, 26) > 2,03298) = 0,0762485$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(26, 96,7) = 183,878$

avec p. critique = $P(F(26, 96,7) > 183,878) = 5,36913e-071$

Modèle (23) Effets fixes avec variables temporelles, utilisant les 297 observations (PIB à la place de l'ENA)

27 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	1964,47	1537,42	1,278	0,2126	
PIB	-7,02938	7,63513	-0,9207	0,3657	
PIB2	0,00568865	0,00559385	1,017	0,3185	
PIB3	-1,41962e-06	1,38189e-06	-1,027	0,3137	
REN	8,24396	11,4120	0,7224	0,4765	
ENUSE	-2,00711	6,39676	-0,3138	0,7562	
IND	-33,1456	30,8089	-1,076	0,2919	
IMP	1,91580	3,01989	0,6344	0,5314	
GOV	-328,325	679,972	-0,4829	0,6332	
KYO	-29,4697	91,1238	-0,3234	0,7490	

Moy. var. dép.	1145,771	Éc. type var. dép.	1306,832
Somme carrés résidus	88081047	Éc. type de régression	592,3854
R2 – LSDV	0,825759	R2 intra	0,123475
Log de vraisemblance	-2292,530	Critère d'Akaike	4677,060
Critère de Schwarz	4846,972	Hannan-Quinn	4745,082
rho	0,567951	Durbin-Watson	0,779954

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(9, 26) = 0,836911$

avec p. critique = $P(F(9, 26) > 0,836911) = 0,589503$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(26, 96,9) = 91,8368$

avec p. critique = $P(F(26, 96,9) > 91,8368) = 5,46952e-057$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 7,63374

avec p. critique = 0,664563

Modèle (24) Effets fixes sans variables temporelles, utilisant les 528 observations (PIB à la place de l'ENA)

48 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	5379,87	3098,35	1,736	0,0891	*
PIB	1,45927	1,31191	1,112	0,2717	
PIB2	-8,77316e-05	0,000152821	-0,5741	0,5687	
PIB3	5,20482e-011	5,18114e-09	0,01005	0,9920	
REN	-165,424	42,1288	-3,927	0,0003	***
ENUSE	8,58354	7,48501	1,147	0,2573	
IND	57,1643	44,8452	1,275	0,2087	
IMP	-26,4480	14,9071	-1,774	0,0825	*
GOV	945,301	702,175	1,346	0,1847	
KYO	798,159	321,136	2,485	0,0166	**
RND	666,834	447,337	1,491	0,1427	

Moy. var. dép.	7495,975	Éc. type var. dép.	4315,886
Somme carrés résidus	2,96e+08	Éc. type de régression	793,7807
R2 – LSDV	0,969832	R2 intra	0,361130
Log de vraisemblance	-4243,834	Critère d'Akaike	8603,668
Critère de Schwarz	8851,275	Hannan-Quinn	8700,601
rho	0,514537	Durbin-Watson	0,896834

Test conjoint des regressseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(10, 47) = 9,27632$

avec p. critique = $P(F(10, 47) > 9,27632) = 3,02093e-008$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(47, 166,7) = 176,409$

avec p. critique = $P(F(47, 166,7) > 176,409) = 2,73209e-120$

Modèle (25) Effets fixes avec variables temporelles, utilisant les 528 observations (PIB à la place de l'ENA)

48 unités de coupe transversale incluses

Longueur des séries temporelles = 11

Variable dépendante: CO2kg

Écarts type robustes (HAC)

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	6408,95	3260,76	1,965	0,0553	*
PIB	0,00409666	1,80758	0,002266	0,9982	
PIB2	8,15859e-05	0,000203857	0,4002	0,6908	

PIB3	-5,52597e-09	6,57063e-09	-0,8410	0,4046	
REN	-184,992	57,3065	-3,228	0,0023	***
ENUSE	13,3071	6,77646	1,964	0,0555	*
IND	51,0117	35,0522	1,455	0,1522	
IMP	-38,1377	15,7516	-2,421	0,0194	**
GOV	1003,44	736,651	1,362	0,1796	
KYO	664,534	316,920	2,097	0,0414	**
RND	691,341	487,828	1,417	0,1630	
dt_2	52,0135	92,6646	0,5613	0,5773	
dt_3	271,677	114,201	2,379	0,0215	**
dt_4	331,757	174,915	1,897	0,0640	*
dt_5	498,311	221,126	2,254	0,0289	**
dt_6	-20,7379	222,021	-0,09341	0,9260	
dt_7	453,551	260,469	1,741	0,0882	*
dt_8	449,015	303,539	1,479	0,1457	
dt_9	411,594	327,167	1,258	0,2146	
dt_10	641,251	463,026	1,385	0,1726	
dt_11	419,959	389,191	1,079	0,2861	

Moy. var. dép.	7495,975	Éc. type var. dép.	4315,886
Somme carrés résidus	2,84e+08	Éc. type de régression	785,5442
R2 – LSDV	0,971083	R2 intra	0,387631
Log de vraisemblance	-4232,649	Critère d'Akaike	8601,298
Critère de Schwarz	8891,596	Hannan-Quinn	8714,944
rho	0,535349	Durbin-Watson	0,857447

Test conjoint des régresseurs spécifiés -

Statistique de test: $F(10, 47) = 6,37749$

avec p. critique = $P(F(10, 47) > 6,37749) = 4,19206e-006$

Robust test for differing group intercepts -

Hypothèse nulle : Les groupes ont une ordonnée à l'origine commune

Statistique de test: Welch $F(47, 166,7) = 131,463$

avec p. critique = $P(F(47, 166,7) > 131,463) = 5,887e-110$

Wald joint test on time dummies -

Hypothèse nulle : No time effects

Statistique asymptotique de test : Chi-deux(10) = 32,1421

avec p. critique = 0,000379177